

BAB II

DASAR - DASAR PERENCANAAN

2.1. DATA BANGUNAN

Data gedung yang direncanakan adalah sebagai berikut :

Nama Gedung	: Gedung Parkir Mall Metropolitan
Fungsi Bangunan	: Gedung Parkir
Lokasi	: Bekasi Barat - Jakarta
Jumlah Lantai	: 6 Lantai
Panjang Gedung	: 38 meter
Lebar Gedung	: 32 meter
Tinggi Bangunan	: 18 meter
Tinggi Tiap Lantai	: 3 meter
Bahan Struktur	: Beton Bertulang dan Beton Pratekan

2.2. TINJAUAN SINGKAT GEDUNG PARKIR

Oleh karena gedung ini berfungsi sebagai tempat parkir, maka berdasarkan peraturan Traffic Engineering perlu diadakan batasan-batasan. Diantaranya kendaraan yang masuk gedung ini harus dibatasi ukurannya karena ketinggian ruang bebas yang tetap. Gedung direncanakan untuk parkir kendaraan ringan, sedangkan untuk bus dan kendaraan berat pengangkut barang direncanakan ditempatkan pada lantai dasar.

Perencanaan alinyemen harus dapat menjamin keselamatan dan kenyamanan bagi pemakai jalan meskipun tikungan ditanjakan yang ada cukup tajam. Selain itu, perawatan harus sesedikit mungkin untuk mencegah gangguan pada jalur yang selalu terbuka untuk umum.

Gedung ini berdiri dengan keseluruhan struktur beton bertulang untuk konstruksi pelat, ramp, balok anak, tangga, balok induk, kolom dan beton pratekan untuk balok induk memanjangnya.

Interior gedung parkir sederhana tidak memerlukan plafon-plafon ataupun finishing lainnya, karena cukup direncanakan dengan struktur terlihat (beam,slap, dan column eksposed). Perlengkapan yang ditambahkan berupa kerb, saluran air (pipa-pipa drainase) dan saluran kabel listrik untuk penerangan.

2.3. DATA TANAH

Penyelidikan tanah yang dilakukan oleh P.T. PERENTJANA DJAYA menunjukkan bahwa kondisi tanah didaerah gedung tersebut adalah tanah lunak, dan termasuk dalam zone gempa 4 dari peta wilayah gempa untuk kota Jakarta (PPTGIUG'83).

2.4. PEMBEBANAN

Jenis beban yang harus diperhitungkan pada perencanaan tugas akhir ini antara lain :

A. Beban Mati, yang termasuk beban mati adalah berat sendiri struktur dan komponen lainnya yang ditinjau sebagai beban mati.

B. Beban Hidup,

lantai ruang mesin : 400 kg/m²

lantai atap : 100 kg.m²

tangga dan bordes : 300 kg/m²

lantai parkir : 400 kg/m²

C. Reduksi Beban Hidup

untuk peninjauan gempa : 0,5

D. Beban Gempa (PPTGIUG1983 pasal 3.5)

Didapat dari analisa respon spektrum berdasarkan PPTGIUG 1983 dimana tanah gedung ini termasuk wilayah 4 pada wilayah gempa di Indonesia.

2.5. PERATURAN YANG DIPAKAI

Dalam merencanakan gedung ini kami menggunakan beberapa peraturan antara lain :

- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03)
- Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung (PPTGIUG 1983)
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971)
- Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya 1971 (PPPJR 1971)
- Peraturan Muatan Indonesia 1970 (PMI 1970)
- Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah Dan Gedung 1987 (PPKGURG 1987)
- Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987 (PPPURG 1987)

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum setiap bangunan bertingkat keberadaannya haruslah mampu memberikan jawaban yang wajar terhadap mendesaknya kebutuhan yang berkaitan dengan konsentrasi penduduk yang padat, kelangkaan lahan, harga lahan yang tinggi dan dampak yang ditimbulkan pada lingkungan dalam berbagai aspek.

Perencanaan bangunan bertingkat tinggi dari segi struktural dan arsitektural memerlukan proses yang rumit, terutama untuk menentukan tinggi sebuah bangunan. Pemilihan akhirnya tidak hanya berdasarkan pada pemahaman struktur dalam konteksnya semata tetapi juga memperhatikan faktor fungsi.

Kriteria eksak pemilihan sistem struktur seringkali sulit diperoleh pada tahap desain awal. Hal-hal mendasar seperti tinjauan fungsional gedung, karakter tanah terutama gerakan tanah akibat gempa memerlukan pendekatan struktur yang mungkin, yang menjamin adanya pemikul stabilitas yang cukup. Pola struktural yang terbentuk dari kombinasi sistem yang membentang vertikal dan horisontal dengan kriteria pemilihan yang benar harus mampu memberikan keuntungan terbesar dari semua alternatif solusi terutama pada bangunan bertingkat.

Pada ketinggian tertentu ayunan lateral bangunan menjadi sangat besar sehingga pertimbangan kekakuan sangat berperan dalam merencanakan struktur suatu bangunan dibandingkan dengan kekuatan bahan struktur itu sendiri. Derajat kekakuan (degree of stiffness) struktur terutama tergantung pada jenis sistem struktur yang dipilih dan efisiensi suatu sistem tertentu berkaitan langsung dengan jenis bahan yang digunakan. Optimasi struktur untuk kebutuhan ruang tertentu akhirnya haruslah menghasilkan kekuatan maksimum tetapi dengan berat sekecil mungkin. Sehingga akan dihasilkan sistem struktur yang dapat diterapkan pada ambang ketinggian tertentu.^[1]

3.2. STRUKTUR GEDUNG PARKIR

Struktur gedung parkir sebenarnya adalah jembatan dengan pembebanan ringan yang diwujudkan kedalam bangunan gedung. Keunikan dari struktur gedung parkir ini adalah biasanya didirikan dalam lokasi gedung-gedung lain dan harus memenuhi peraturan-peraturan umum bangunan, tetapi juga dihitung sebagai jembatan lalu lintas dengan memperhatikan adanya beban dinamis, perubahan suhu yang besar, dan peraturan-peraturan jembatan lalu lintas terutama mengenai lebar jalur, alinyemen, dan lain sebagainya.^[2]

Berbeda dengan struktur lain, struktur gedung parkir akan berbeda dalam situasi desain rencana dibandingkan dengan struktur tertutup. Struktur gedung parkir biasanya terbuka dimana variasi suhu setiap hari maupun cuaca mempunyai pengaruh yang mesti diperhitungkan karena hal ini akan mengakibatkan volume beton dibandingkan struktur yang tertutup dimana

perubahan volume beton itu relatif kecil dan mempunyai keadaan suhu, kelembaban relatif tetap dan terjaga.

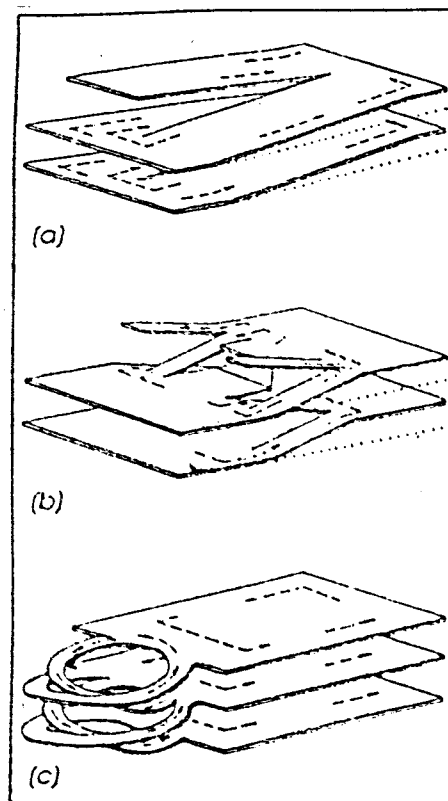
Berbeda dengan struktur lain, pada struktur gedung parkir didisain untuk menyediakan fleksibilitas maksimal bagi ruang parkir dan memberikan kesempatan bagi pergerakan kendaraan tanpa terganggu oleh kolom-kolom. Maka struktur gedung parkir didisain dengan rentang bebas struktur yang panjang tergantung dari desain panjang kendaraan dan ruang pergerakan kendaraan.

Berbeda dengan struktur lain, stuktur gedung didisain dengan dengan kolom, balok, dan pelat lantai terlihat dan mempunyai tinggi ruang bebas yang lebih pendek dari struktur lain seperti bangunan kantor atau apartemen. Hal ini akan sangat menguntungkan dimana dengan ketinggian yang sama pemanfaatan ruang untuk stuktur gedung parkir relatif lebih banyak.

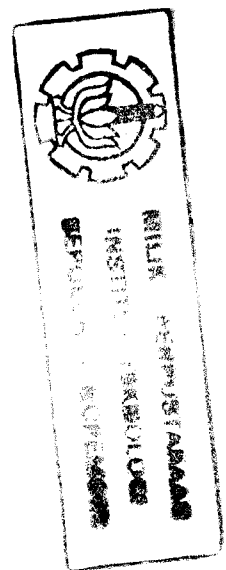
Tantangan sebenarnya dalam desain struktur parkir adalah harus didisain sebagai struktur kaku untuk menahan gaya lateral dari gempa dan juga harus didisain sebagai struktur lentur yang menahan beban internal akibat perubahan volume yang disebabkan variasi suhu, maka struktur gedung parkir harus didisain sebagai struktur lentur-kaku.^[3]

Berdasarkan peraturan-peraturan yang berlaku untuk jembatan lau lintas, maka dikembangkan berbagai variasi bentuk konfigurasi struktur gedung parkir dalam penyediaan ruang parkir dan pergerakan kendaraan. Pemilihan salah satu konfigurasi struktur gedung parkir disesuaikan dengan kebutuhan

dan kondisi lahan yang ada. Berikut ini gambar memperlihatkan variasi konfigurasi struktur gedung parkir.



*Fig. 1—Parking structures can be designed in various configurations.
 (a) Sloping floor configuration—two-way circulation.
 (b) Staggered floor configuration—one-way circulation.
 (c) Concentric opposed plane helical ramp configuration.*



Gambar 3.1. Konfigurasi struktur gedung parkir

3.3. MODELISASI STRUKTUR

Struktur utama bangunan terdiri atas balok-balok utama dan kolom-kolom. Dengan bantuan program SAP90, analisa pembebanan statis pada struktur dapat dilakukan secara bersamaan dengan analisa pembebanan

dinamis berdasarkan sistem struktur tiga dimensi agar analisa lebih mendekati keadaan yang sebenarnya.

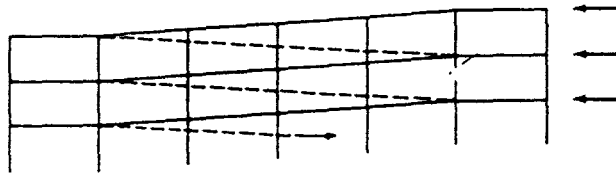
Bagian pekerjaan analisa yang penting yaitu menyederhanakan struktur yang sebenarnya dan kondisi pembebanan yang dijadikan model sehingga bisa menjadi analisa rasional yang dapat diterima.

3.3.1. Open Frame

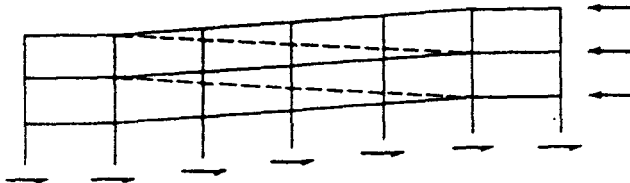
Kerangka struktur sebagian besar tidak diisi dengan tembok sehingga struktur dimodelkan sebagai rangka terbuka (open frame). Untuk memperhitungkan beban gempa, maka pada struktur dikenakan kombinasi beban statis dengan beban dinamis. Dengan mewakili setiap lantai kedalam bentuk massa terpusat (lumped mass system), modelisasi ini akan menghasilkan bentuk macam-macam mode getaran. Analisa gaya dalam pada struktur utama diambil dalam bentuk tiga dimensi karena lebih mendekati keadaan bangunan yang sebenarnya.

3.3.2. Sistem Pengaku Lateral

Pada kondisi kelandaian lantai ramps yang menerus, maka kemiringan lantai dapat dimanfaatkan sebagai suatu truss atau batang penunjang vertikal pada struktur. Aksi rangka batang akan membawa beban lateral mendaki. Lihat gambar (a) : seluruh sambungan sendi; lantai menerus dan kolom-kolom membentuk suatu truss.



(b) Sloped floor continuous ramps—all connections pinned; continuous floors and columns form a truss.



(c) Sloped floor truss creates stiffened box on continuous columns pinned at base. Plate action of floors allows exterior columns to resist lateral loads

Gambar 3.2. Sistem pengaku lateral gedung parkir

Praktek lain adalah dengan dengan membiarkan pelat lantai miring menghasilkan suatu batang penunjang (truss) berusuk yang kaku didukung oleh satu tingkat kolom, dan truss berusuk yang kaku pada satu tingkat kolom.

3.3.3. Permodelan Lantai Sebagai Diafragma yang Kaku

Struktur utama gedung dimodelkan sebagai struktur rangka ruang tiga dimensi (Open Space Frame) yang tersusun dari elemen frame balok dan kolom dengan bantuan paket program SAP90 version 5.20.

Paket program SAP90 juga memiliki fasilitas untuk memodelkan pelat lantai sebagai rigid floor diaphragm. Seperti telah diketahui bahwa pelat lantai beton merupakan elemen struktur yang memiliki kekakuan yang tinggi. Lantai dapat dimodelkan sebagai diaphragm kaku pada bidang horisontal yang sejajar dengan bidang X-Y sumbu global struktur. Semua titik yang terdapat

pada elemen lantai yang bersangkutan dihubungkan ke satu titik yang disebut master of joint melalui rigid links. Dengan demikian maka setiap titik yang terletak pada lantai tersebut tidak dapat berpindah relatif satu sama lain. Pergerakan setiap titik dalam elemen diaphragma kaku tersebut diwakili oleh pergerakan master of joint tersebut.

Master of joint dari setiap lantai juga mewakili pusat massa dan mass moment of inertia dari lantai yang bersangkutan. Pemusatan massa lantai dengan cara ini akan dapat mengurangi jumlah persamaan yang harus diselesaikan dalam proses perhitungan oleh komputer serta menghindari timbulnya masalah yang berkaitan dengan akurasi perhitungan dibandingkan dengan apabila setiap lantai yang ada dimodelkan sebagai elemen membran.

3.4. RENCANA PEMBEBANAN UMUM

Pembebanan terdiri atas beban arah vertikal dan beban arah horisontal. Beban arah vertikal berupa beban mati (yaitu berat sendiri bangunan) dan beban hidup akibat gaya gravitasi bumi, sedangkan beban horisontal berupa beban karena pergoyangan waktu terjadi gempa bumi.

3.4.1. Beban Lateral

Selama terjadi gempa bumi, bangunan mengalami gerakan vertikal dan horisontal. Gaya inersia atau gaya gempa baik dalam arah vertikal maupun arah horisontal, akan timbul di titik-titik massa struktur. Diantara kedua gaya ini, gaya arah vertikal hanya sedikit sekali pengaruhnya terhadap gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, padahal struktur biasa direncanakan berdasarkan

gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Akibatnya struktur jarang sekali runtuh akibat gempa vertikal. Sebaliknya gaya gempa horisontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya kurang memadai dan langsung menyebabkan keruntuhan (failure). Atas dasar inilah, maka prinsip utama dalam perencanaan tahan gempa (earthquake resistant design) ialah meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya lateral ke samping yang umumnya kurang memadai.^[9]

3.4.2. Beban Hidup

Pada saat beban vertikal roda kendaraan bergerak biasa, besar beban sangat kecil bila dibandingkan terhadap massa struktur. Oleh sebab itu pengaruh dinamis akibat beban roda kendaraan diabaikan dalam perencanaan struktur gedung parkir .

Dengan diberikannya beban hidup untuk gedung parkir bertingkat dalam peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, maka kini dapat dihindarkan ketidakseragaman didalam perencanaan beban gedung parkir. Juga dicantumkan ketentuan mengenai besarnya reduksi beban hidup untuk perencanaan balok induk dan portal serta peninjauan gempa, tetapi reduksi itu adalah optional dan bukan suatu keharusan kecuali apabila reduksi tersebut memberikan keadaan yang berbahaya bagi konstruksi atau unsur konstruksi yang ditinjau.

Syarat peraturan untuk beban hidup bagi penumpang kendaraan umumnya 50 psf ($= 244.12 \text{ kg/m}^2$). Bebankendaraan yang sesungguhnya jarang

yang melebihi 30 psf saat diparkir. Oleh karenanya diperbolehkan perencanaan beban 50 psf dengan termasuk 20 psf beban tumbuk ($= 97,65 \text{ kg/m}^2$). Apabila peraturan bangunan setempat mengizinkan adanya reduksi, diperbolehkan ada reduksi beban hidup tidak boleh lebih dari 50 psf untuk balok induk, balok anak, dan kolom^[10].

Untuk struktur bangunan ini beban angin tidak menentukan, atau tidak signifikan dibandingkan dengan beban gempa, sehingga hanya diperhitungkan tiga kombinasi pembebanan yaitu : Beban berat sendiri, kombinasi beban hidup dan beban mati, dan kombinasi beban berat sendiri dengan beban sementara akibat gempa.

3.5. METODE PERENCANAAN

Langkah pertama dalam perencanaan adalah melakukan preliminary design agar agar dapat dihindari dimensi elemen-elemen struktur yang tidak memenuhi syarat/batas pemakaian atau kekuatannya. Batas pemakaian berupa deformasi, lebar retak dan lendutan, sedangkan batas kekuatannya berupa batas keruntuhan bahan.

Metode analisis yang digunakan adalah sesuai dengan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SKSNI T-15-1991-03, antara lain menyatakan (ayat 3.1.3) :

1. Semua komponen struktur dari kerangka tau konstruksi menerus harus dirancang terhadap pengaruh maksimum dari beban berfaktor yang dihitung sesuai dengan teori elastis, kecuali bagian yang telah dimodifikasi.

2. Kecuali untuk beton pratekan metode analisa pendekatan untuk kerangka boleh digunakan untuk bangunan dengan tipe struktur, bentang, dan tinggi tingkat yang umum.

Adapun perencanaan komponen struktur beton bertulang harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Semua komponen struktur harus diproporsikan untuk mendapatkan kekuatan yang cukup sesuai dengan ketentuan pada SK SNI T-15-1991-03, dengan menggunakan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ .
2. Khusus untuk komponen struktur beton bertulang non pratekan, kmponen struktur boleh direncanakan dengan menggunakan beban kerja dan tegangan ijin untuk beban kerja sesuai dengan ketentuan pasal 3.15 SK SNI T15-1991-03.

Pada perhitungan pembebanan, perhatian dan pertimbangan harus diberikan terhadap pengaruh gaya akibat pratekan, beban keran, vibrasi, kejut, susut, perubahan suhu, rangkak, perbedaan penurunan pada bagian tumpuan bangunan, dan beban lainnya yang mungkin bekerja.

3.5.1. Langkah Awal Perencanaan

Sebagai langkah awal dalam perencanaan setiap struktur perlu dilakukan pengumpulan informasi sebanyak dan selengkap mungkin mengenai :

- ♦ deskripsi umum bangunan
- ♦ denah dan sistem struktur bangunan

- ♦ wilayah gempa dimana bangunan berada
- ♦ data pembebanan
- ♦ data tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah
- ♦ mutu bahan yang digunakan
- ♦ metode analisa dan desain struktur
- ♦ standar dan referensi yang dipakai dalam perencanaan

Dalam tahap ini denah dan konfigurasi bangunan berikut sistem strukturnya telah memenuhi persyaratanyang dikaji secara seksama, apakah telah memenuhi tata letak struktur, apakah perlu dilakukan dilatasi, adakah loncatan bidang muka, adakah perbedaan kekakuan antar bidang tingkat yang cukup dramatis, dan apakah sistem penahan beban lateral segaris sumbu dari lantai teratas sampai ke pondasi.

Pada langkah awal ini juga dilakukan idealisasi struktur dan estimasi dimensi komponen-komponen struktur sesuai dengan kebutuhan dan ketentuan dalam SK SNI T-15-1991-03. Setelah idealisasi dan dimensi komponen-komponen struktur serta beban-beban yang bekerja diterapkan, maka dapat dilakukan analisa struktur dengan metode perhitungan konvensional maupun dengan bantuan program komputer untuk memperoleh besar dan arah gaya-gaya dalam yang bekerja pada setiap komponen struktur. Apabila tidak dikehendaki lain, pengaruh getaran gempa dapat diperhitungkan dalam bentuk beban gempa rencana statik ekuivalen yang bekerja pada titik pusat massa lantai. Penentuan besarnya koefisien gempa dasar C harus dilakukan dengan

memperhatikan wilayah dimana bangunan berada, kondisi tanah dibawah bangunan, dan waktu getar alami struktur.

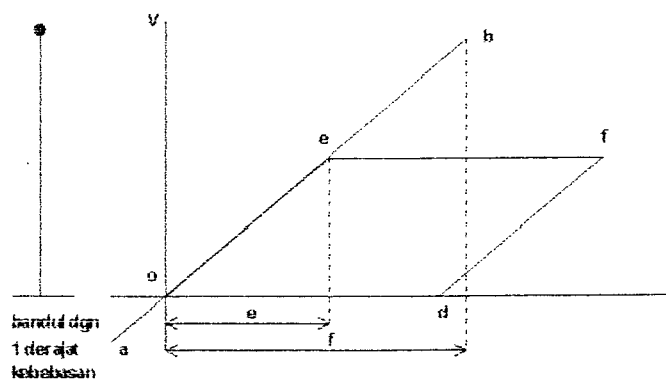
3.6. DAKTILITAS STRUKTUR

Adalah tidak ekonomis apabila perencanaan suatu struktur gedung dilakukan sedemikian rupa kuatnya sehingga mampu menahan beban gempa kuat yang terjadi secara elastik penuh. Berkaitan dengan hal ini maka ditetapkan suatu gempa rencana di dalam peraturan perencanaan struktur tahan gempa yang menjamin suatu struktur untuk tidak mengalami kerusakan akibat gempa kecil atau sedang namun dalam gempa kuat (yang umumnya jarang terjadi), struktur tetap mampu melakukan perubahan bentuk secara daktail dengan memancarkan energi gempa serta membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur tersebut.

Untuk membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur, maka penting untuk diperhatikan mengenai penyebaran energi gempa yang terjadi. Perencanaan struktur gedung tahan gempa tidak didasarkan pada teori elastisitas tetapi ditinjau dari teori elastoplastis. Pada tahap ini perilaku struktur sudah tidak linier lagi dengan terbentuknya sendi-sendi plastis pada elemen-elemen struktur.

Gambar 2. 1 berikut ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pengertian respons elastis dan elastoplastis suatu struktur. Dimana struktur dimodelkan sebagai sistem bandul dengan derajat kebebasan tunggal [gambar 2. 1 (a)]. Respons yang bersifat elastik murni

dapat dilihat pada gambar 2.1 (b) dimana menurut teori elastisitas, bidang $o - b - d$ yang berada di bawah grafik merupakan suatu ukuran bagi energi potensial yang tersimpan apabila struktur mengalami simpangan hingga mencapai harga d . Besar energi potensial di titik d ini akan berubah menjadi energi kinetik sejalan dengan perpindahan dari kedudukan b menuju titik o . Pada titik o ini seluruh energi potensial yang tersimpan telah berubah menjadi energi kinetik dan kembali akan disimpan sebagai energi potensial pada kedudukan a .



Gambar 3.3. Gambaran dari respon elastis dan elastoplastis suatu struktur

Gambar 2.1 (c) menunjukkan bandul getar yang sama tetapi suatu kondisi dimana 'sendi plastis' boleh terjadi (pada batang bandul) menyebabkan struktur tersebut berperilaku yang jika diidealisasikan dan disederhanakan coraknya adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar. Titik e menunjukkan gaya geser yang berkaitan dengan kapasitas ditunjukkan pada gambar. Titik e menunjukkan gaya geser yang berkaitan dengan kapasitas momen dari sendi

plastis yang terjadi. Pada kondisi ini struktur tidak mengalami simpangan hingga mencapai simpangan elastis penuh di titik **b**, akan tetapi respons struktur akan mengikuti garis **e-f** hingga berhenti pada kedudukan **f**. Perubahan energi kinetis di titik **o** menjadi energi potensial sejalan dengan perpindahan bandul dari titik setimbang menuju titik terjauh simpangan, digambarkan oleh bidang **o-e-f-g**. Dengan demikian terjadi perubahan gaya geser dasar yang dibatasi oleh terbentuknya sendi plastis tersebut.

Suatu ukuran bagi perilaku dan kemampuan struktur untuk menyimpan energi dan memancarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maksimum **f** dan simpangan leleh pertama **e** yang dinamakan sebagai faktor daktilitas. Energi potensial total yang tersimpan pada struktur adalah luasan bidang **o-e-f-g**. Namun tidak semua dari energi yang tersimpan ini akan berubah menjadi energi kinetik di titik **o** seperti halnya apabila struktur berperilaku elastik murni. Hanya luasan bidang **h-f-g** dari energi potensial yang akan diubah kembali menjadi energi kinetik. Perilaku struktur yang bersifat elastoplastik inilah yang menjadi dasar bagi teknik pencadangan energi yang dipakai dalam perencanaan struktur **daktail**.

Filosofi perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia sesuai dengan PPTGIUG 1983 adalah menjamin struktur bangunan tersebut tidak rusak/runtuh oleh gempa kecil atau sedang, tetapi oleh gempa kuat struktur mampu melakukan perunahan bentuk secara daktail, dengan memancarkan

energi gempa serta membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur tersebut.

Pada saat terjadi gempa kuat terbentuk sendi-sendi plastis sehingga pada fase ini perilaku struktur tidak lagi linear. Suatu ukuran bagi kemampuan struktur untuk menyimpan dan memancarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maksimum (Δ_{max}) dan simpangan pada saat leleh awal (Δ_y) yang disebut sebagai **faktor daktilitas** (μ) yang diperlihatkan pada gambar 2.2 di halaman 15.

Ada dua metode perencanaan tahan gempa yang umum dilakukan yaitu :

1. **daktil penuh** , dimana nilai $\mu = 4$
2. **elastis**, dimana harga $\mu = 1$

Dalam perencanaan struktur gedung dengan metode **elastis**, beban gempa rencana harus dikalikan dengan 4, sehingga apabila pengaruh beban gempa terhadap struktur dominan maka dimensi dari elemen-elemen struktur akan besar. Perencanaan dengan metode **daktilitas penuh** selalu memerlukan desain yang lebih kompleks sesuai dengan prosedur desain kapasitas.

Pemilihan daktilitas ini didasarkan pada zone gempa dimana struktur gedung itu dibangun. Karena Gedung ini dibangun di daerah gempa zone 4 , maka untuk mencapai optimasi perencanaan dengan prosedur yang lebih sederhana dari capacity design namun tetap dapat memenuhi daktilitas yang dituntut, maka dipergunakan konsep perencanaan dengan metode daktilitas 2

atau yang dikenal juga dengan sebutan **daktilitas terbatas**. Pada perencanaan struktur dengan daktilitas terbatas ini nilai faktor daktilitas (μ) diambil antara 1 dan 4 yaitu sebesar 2.

Untuk merencanakan struktur gedung dengan daktilitas **terbatas** seperti halnya pada gedung parkir Mal Metropolitan ini, maka beban gempa rencana dikalikan 2 (dua). Tingkat daktilitas 2 ($\mu=2$) mempunyai pengertian bahwa struktur beton diproporsikan berdasarkan suatu persyaratan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respons inelastik terhadap beban siklis yang bekerja padanya tanpa mengalami keruntuhan getas.

Apabila struktur beton dirancang dengan tingkat daktilitas 2, maka semua komponen struktur harus dirancang dan diproporsikan berdasarkan ketentuan :

- ♦ Faktor tipe struktur K , yaitu suatu konstanta yang menggambarkan kemampuan respons inelastik struktur akibat bekerjanya beban gempa atau merupakan faktor pengali beban gempa dasar. Makin tinggi nilai K makin rendah kemampuan daktilitasnya.
- ♦ Faktor tipe struktur K yang dipakai dalam perencanaan dengan tingkat daktilitas 2 harus diambil sama dengan 2. (**SKSNI T15-03-1991 ayat 3.14.1**)

- ♦ Nilai K yang dipakai dalam perencanaan harus diambil sebagai rasio antara gaya lateral statik yang ditetapkan dari daktilitas terbatas terhadap struktur daktilitas penuh.

Penerapan pemakaian faktor K ini dapat dilihat pada COMBO data block SAP90 input data struktur utama.

3.6.1. Tingkat Daktilitas

Pengertian tingkat daktilitas diatur dalam SK SNI T-15 - 03 - 1991 ayat 3.14.1 yang mengklasifikasikan tingkat daktilitas sebagai berikut :

a. Tingkat Daktilitas 1

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail pada struktur bangunan sangat sedikit karena struktur sepenuhnya bersifat elastis. Beban rancang lateral dasar harus dikalikan dengan suatu faktor tipe struktur K sebesar 4.

b. Tingkat Daktilitas 2

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respons inelastis terhadap beban siklis yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas. Beban rancang lateral harus dikalikan 2.

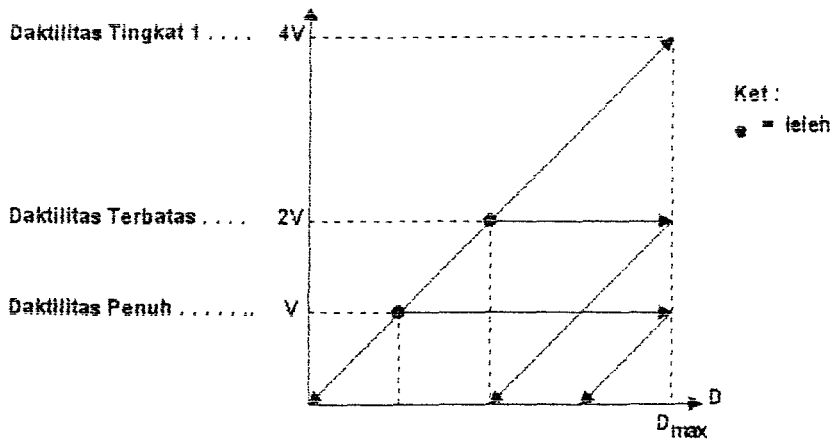
c. Tingkat Daktilitas 3

struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respons

inelastis terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami keruntuhan. Beban rancang lateral dikalikan dengan faktor sebesar 1.

3.6.2. Dasar Pemilihan tingkat Daktililitas Dua

Dasar pemilihan tingkat daktililitas dua pada perencanaan gedung ini antara lain karena gedung ini mempunyai bentang yang panjang, tidak terlalu tinggi, serta bentuknya yang kurang beraturan khususnya pada bangunan tepi. Selain itu struktur gedung parkir ini terletak pada zona gempa kecil (zona 4), mempunyai beban gravitasi (arah vertikal) yang lebih dominan dibandingkan dengan beban arah lateral. Dengan demikian perencanaan struktur gedung ini dengan pemilihan tingkat daktililitas yang terlalu tinggi ataupun perancangan struktur yang terlalu kaku akan terasa tidak efisien. Pemilihan tingkat daktililitas penuh akan mengakibatkan syarat pendetailan penulangan menjadi rumit dan kompleks yang pada akhirnya akan menimbulkan tingkat kesulitan yang lebih tinggi dalam pelaksanaan di lapangan. Sedangkan perencanaan dengan daktililitas tingkat 1 akan menyebabkan dimensi elemen-elemen struktur menjadi besar sehingga mengurangi efisiensi dan efektifitas kegunaan atau pemakaian ruangan. Maka dipilihlah tingkat daktililitas yang berada diantara kedua batasan tersebut yaitu tingkat daktililitas terbatas.



Gambar 3.4. Grafik hubungan antara gaya geser lateral dan jenis simpangan

Pada perencanaan struktur dengan tingkat daktilitas dua atau daktilitas terbatas ini, faktor daktilitas berharga 2. Artinya, beban gempa rencana hanya dikalikan dengan faktor pembesaran tersebut sehingga tuntutan daktilitas yang diperlukan untuk mengatasi terjadinya gempa-gempa kuat yang melampaui taraf gempa rencana tidaklah setinggi yang disyaratkan pada perencanaan struktur dengan daktilitas penuh. Dengan kata lain syarat-syarat pendetailan yang dituntut akan menjadi lebih longgar. Namun demikian hal ini akan membawa konsekwensi lain yaitu faktor jenis struktur untuk menghitung gaya gempa dasar menjadi lebih besar.

3.6.3. Perencanaan Daktililitas Tingkat Dua

Perencanaan struktur dengan daktililitas tingkat dua dilakukan dengan tetap berpedoman pada pasal 3.14.9 SKSNI T-15-03-1991 dan memenuhi persyaratan pada bab-bab sebelumnya.

Persyaratan Umum :

- ♦ Gaya tekan aksial berfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak boleh melebihi $1/10 A_g f_c'$.
- ♦ Bentang bersih dari komponen struktur rangka terbuka tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
- ♦ Rasio lebar dan tinggi balok tidak boleh kurang dari 0.25.
- ♦ Lebar balok tidak boleh kurang dari 200 mm
- ♦ Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi terpendek kolom tidak boleh lebih besar dari 25
- ♦ Faktor type struktur yang dipakai harus diambil sama dengan 2 ($K = 2$).

Persyaratan Khusus :

- ♦ Rasio tulangan longitudinal total tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak boleh melebihi 6 %.
- ♦ Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup tunggal ataupun tertutup majemuk.

- ♦ Spasi maksimum sengkang tertutup dari kolom tidak boleh melebihi harga $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter dari sengkang dan 300 mm.
- ♦ Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- ♦ Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $1/2$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, sepuluh kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- ♦ Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam pasal 3.4 SK SNI-T15-03-1991.

Algoritma perencanaan struktur gedung dengan tingkat daktilitas 2 ditunjukkan pada gambar 2.3 . (bagian terakhir bab ini) dalam diagram alir.

►Tulangan Susut dan Suhu

Batas minimum rasio luas tulangan susut dan suhu pada pelat yang menggunakan batang tulangan deform mutu 320 adalah 0.002.

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0.002 \times 1000 \times 125$$

$$= 248 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai = D12-450 ($A_s = 251.3 \text{ mm}^2$)

4.4. PERENCANAAN BALOK ANAK

Struktur sekunder seperti telah disebutkan di muka diasumsikan tidak mampu menerima beban-beban arah lateral seperti halnya beban gempa, tetapi direncanakan hanya untuk mampu menerima beban gravitasi, baik yang berasal dari berat struktur sendiri maupun dari beban gravitasi yang dipindahkan oleh struktur sekunder yang membebaninya.

Denah dari pada balok anak bangunan ini dapat dilihat pada Lampiran mengenai denah pembalokan.

4.4.1. Preliminary Design Balok Anak.

Dimensi elemen-elemen balok anak pada saat preliminary design disesuaikan dengan bentang dan beban yang dipikulnya. Untuk pendekatan preliminary design balok anak disesuaikan dengan peraturan SKSNI T-15-1991-03 ayat 3.2.5 butir 1 yang menganjurkan tinggi minimum balok bila lendutan tidak dihitung tidak boleh kurang dari $h=1/16L$, dimana L dan h dalam mm. Pada perencanaan balok anak gedung parkir ini diambil tinggi balok $(h) = 1/16 L$.

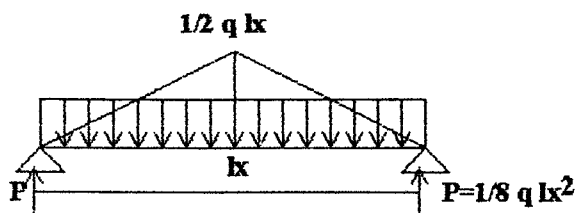
untuk balok anak bentang 9m, maka tinggi balok

maka diambil tinggi semua balok anak yang ada pada gedung parkir ini adalah 500 mm (kurang dari 562.5 mm), maka balok anak tersebut perlu dikontrol lendutannya.

4.4.2. Pembebanan Pada Balok Anak.

Adapun distribusi pembebanan pada balok anak didasarkan pada cara tributary area, yaitu beban pelat dinyatakan dalam trapesium maupun segitiga. Beban-bekan berbentuk trapesium dan segitiga tersebut kemudian dirubah menjadi beban merata ekivalen dengan cara menyamakan momen maksimumnya diatas dua tumpuan sederhana

1. Penurunan rumus beban ekivalen untuk beban segitiga :



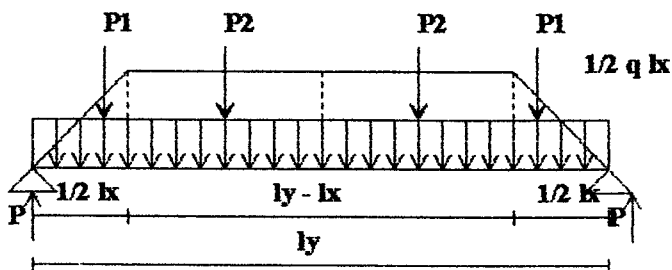
- berdasarkan momen maksimum :

$$M_{ek} = M_{max}$$

$$\frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot l_x^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x - \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2 \cdot \frac{1}{6} \cdot l_x$$

$$q_{ek} = \frac{1}{3} \cdot q \cdot l_x$$

2. Penurunan beban ekivalen untuk beban trapesium :



$$P = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x^2 \cdot \left(\frac{l_y}{l_x} - \frac{1}{2} \right)$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot (l_y - l_x) = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x \cdot (l_y - l_x)$$

- berdasarkan momen maksimum :

$$M_{ek} = M_{max}$$

$$M_{ek} = \frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot ly^2$$

$$M_{max} = \frac{1}{4} \cdot q \cdot lx \cdot (lx - ly) \left(\frac{1}{4} ly - \frac{1}{4} lx \right)$$

$$\frac{1}{4} \cdot q \cdot lx^2 \cdot \left(\frac{ly}{lx} - \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot ly - \frac{1}{8} \cdot q \cdot lx^2 \cdot \left(\frac{1}{6} lx + \frac{1}{2} ly - \frac{1}{2} lx \right) -$$

maka,

$$M_{ek} = M_{max}$$

$$\frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot ly^2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot lx - \frac{1}{6} \cdot q \cdot \left(\frac{lx^3}{ly^2} \right)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot lx - \frac{1}{6} \cdot q \cdot \frac{lx^3}{ly^2}$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot lx \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{lx}{ly} \right)^2 \right]$$

Berdasarkan rumus beban ekivalen tersebut di atas, maka dibentuklah pembebanan untuk elemen balok anak sesuai dengan ukuran dan bentuk pelat lantai yang ada. Jenis beban ekivalen dan harganya serta kombinasi pembebanan yang dipakai pada perencanaan dapat dilihat pada tabel perencanaan balok anak di lampiran .

Kombinasi pembebanan yang dipakai disesuaikan dengan peraturan yang tercantum dalam SKSNI-T15-1991-03 pasal 3. 2. 2. (1)

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

dimana :

D = beban mati

L = beban hidup

4.4.3. Analisa Gaya-gaya dan Momen Pada Balok Anak

Data-data teknis yang dipakai dalam perencanaan balok anak adalah sebagai berikut :

- kuat tekan beton $f_c' = 25 \text{ Mpa}$
- modulus elastisitas beton $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c}$
 $= 23500 \text{ Mpa}$
- mutu baja yang dipakai adalah U 32 atau $f_y = 320 \text{ Mpa}$

Dari hasil analisa struktur dengan SAP90, maka diperoleh gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk pembesian lentur dan geser dengan memperhatikan syarat - syarat tentang panjang penyaluran, kontrol retak, dan kontrol terhadap lendutan.

a. Anggapan - Anggapan Yang Dipakai Dalam Perencanaan

Desain penulangan lentur balok anak dilakaukan dalam kondisi regangan berimbang antara serat beton dan tulangan yang dipakai.

Asumsi yang dipergunakan dalam hal ini adalah :

- penampang persegi empat dengan penulangan ganda (tulangan rangkap)
- kriteria tulangan tekan leleh
- konstruksi balok T, terutama untuk penampang balok yang berada di tengah bentang apabila badan balok dicor secara monolit dengan pelat lantai yang didukungnya.

- penulangan lentur pada penampang yang terletak di tumpuan dimana terjadi momen negatif didasarkan pada analisa balok persegi biasa.

Prosedur desain konstruksi balok T dilakukan dengan mengambil harga lebar efektif flens sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10. Sedangkan untuk menghitung kekuatan komponen struktur terhadap beban-beban lentur atau aksial ataupun kombinasi beban lentur dan aksial, maka dipergunakan acuan sebagai berikut :

- 1 Kuat rencana komponen struktur untuk beban lentur dan aksial didasarkan pada asumsi yang terdapat pada SK SNI-T15-1991-03 pasal 3.3.2. butir 2 sampai dengan pasal 3.3.2. butir 7 dan atas terpenuhinya kondisi keseimbangan dan kompatibilitas regangan yang berlaku.
- 2 Regangan dalam tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding langsung dengan jarak dari sumbu netral.
- 3 Regangan maksimum pada serat tekan beton terluar harus diambil sebesar 0,003.
- 4 Nilai tegangan yang terjadi dalam tulangan dibawah kuat leleh yang ditentukan f_y , untuk mutu tulangan yang digunakan harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja ($f_s = E_s \cdot \epsilon_s$). Untuk regangan yang lebih besar dari regangan yang memberikan f_y , maka tegangan yang terjadi pada tulangan

harus dianggap tidak tergantung pada regangan dan diambil sama dengan f_y ($\sigma_y = f_y$).

- bila $\epsilon_s \leq \epsilon_y$, maka $A_s.f_s = A_s.E_s.\epsilon_s$

- bila $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, maka $A_s.f_s = A_s.f_y$ dimana $E_s = 2.10^5$ MPa

- 5 Perhitungan penulangan terhadap lentur dilakukan dengan mengabaikan kuat tarik beton yang ada (kecuali pada perhitungan elemen balok pratekan).
- 6 Distribusi tegangan tekan yang terjadi pada serat atas penampang balok beton serta regangan yang terjadi boleh diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk-bentuk lainnya yang dapat menunjukkan perkiraan kekuatan rencana yang cukup memadai bila dibandingkan dengan hasil pengujian yang lebih akurat.

Ketentuan yang tercantum dalam ayat 3.3.2 butir 6 boleh dianggap dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut :

- tegangan beton sebesar $0.85 f_c'$ harus diasumsikan terdistribusi yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejauh $a = b_1 x$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
- jarak x dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.

- faktor β_1 harus diambil sebesar 0.85 untuk kuat tekan beton f_c' hingga atau sama dengan 30 MPa. Untuk kekuatan tekan beton diatas 30 MPa, maka harga β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0.008 untuk setiap kelebihan 1 MPa diatas 30 Mpa secara linier, namun nilai β_1 ini tidak boleh < 0.65 .

Batasan nilai β_1 yang dipakai dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

untuk $f_c' \leq 30$ MPa, maka harga $\beta_1 = 0.85$

untuk $f_c' \geq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0.85 - 0.008(f_c' - 30) \geq 0.65$

b. Kondisi Regangan Berimbang dan Batas Rasio Penulangan

Kondisi regangan berimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang disyaratkan f_y pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas asumsi 0.003.

(ayat 3.3.3 butir 2 SKSNI T-15-1991-03).

Berikut ini diberikan harga dari rasio penulangan pada keadaan berimbang (ρ_b) dan harga rasio penulangan maksimum (ρ_{max}) :

- Penampang persegi dengan tulangan tunggal

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

- Penampang persegi dengan tulangan ganda

$$\rho_b = \rho_b + \rho' \frac{f_s'}{f_y}$$

dimana :

f_s' = tegangan pada tulangan tekan dalam kondisi regangan berimbang.

$$= 600 \left(1 - \frac{0,85 f_c' b_1 d'}{(\rho - \rho') f_y d} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b + \rho' \frac{f_s'}{f_y}$$

Faktor 0.75 diberikan untuk memberikan batasan penulangan maksimum agar dijamin terjadinya pola keruntuhan yang terjadi pada lentur adalah pola keruntuhan yang daktail. Batasan tulangan minimum juga diberikan berdasarkan ketentuan yang berlaku pada ayat 3.3.5 butir1 SK SNI T-15-1991-03 yaitu :

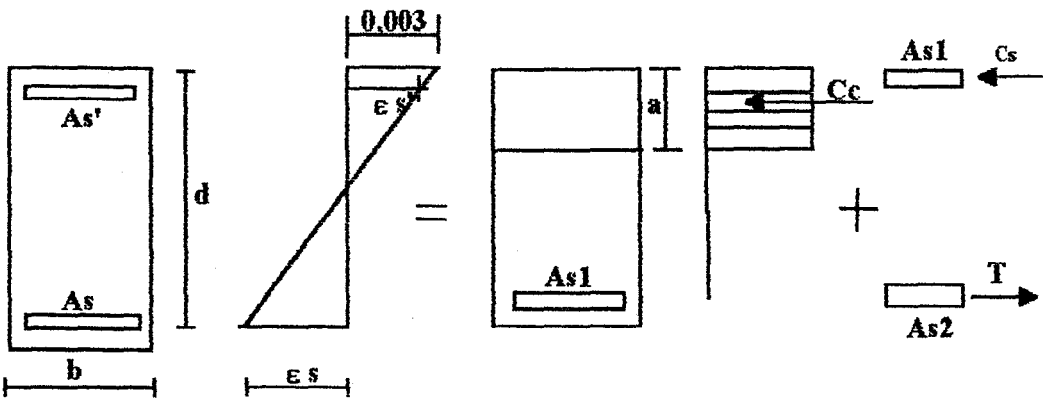
$$\rho_{min} = 1,4 / f_y$$

c. Kuat Lentur Penampang Persegi Empat dengan Tulangan Rangkap.

Arti dari tulangan rangkap adalah adanya tulangan tarik dan tekan yang dipasang pada penampang balok. Kekuatan beton sendiri terhadap tekan sebenarnya sudah cukup tinggi sehingga peranan tulangan tekan untuk meningkatkan kekuatan penampang balok dalam hal ini adalah tidak terlampau besar. Namun demikian tulangan tekan tetap diperlukan untuk mengantisipasi terjadinya creep dan lendutan .

Gambar 3.1 berikut ini dapat memberikan penjelasan mengenai dasar perencanaan penulangan balok persegi dengan tulangan

rangkap serta asumsi tegangan dan regangan yang terjadi pada penampang balok yang mengalami lentur.



Gambar : 3.1. Perilaku penampang balok akibat lentur

Kriteria tulangan tekan mencapai kondisi leleh adalah :
 regangan baja yang terjadi ϵ_s mencapai harga yang lebih besar
 pada regangan leleh baja ϵ_y .

$$\epsilon_s \geq \epsilon_y \dots\dots\dots (1)$$

$$T = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$C_c = 0,85 f_c' b_1 \times b$$

$$C_s = (f_y - 0.85 f_c') \rho' b d$$

berdasarkan kesetimbangan gaya :

$$T = C_c + C_s$$

diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$x = \frac{f_y d}{0,85 b_1 f_c'} (\rho - \rho') (1 - \frac{0,85 f_c'}{f_y}) \dots\dots (2)$$

dari diagram regangan diatas diperoleh :

$$\epsilon_s' = \frac{0.003}{x} (x - d) \dots\dots\dots(3)$$

substitusi persamaan (3) ke dalam persamaan (1) akan memberikan,

$$x \geq \frac{0.003 \epsilon_s d'}{0.003 \epsilon_s - f_y} \dots\dots\dots (4)$$

substitusi persamaan (2) ke dalam persamaan (4) maka,

$$(p - p') \left(1 - \frac{0.85 f_c'}{f_y} \right) \geq 0.85 b_1 \frac{f_c' d'}{f_y d} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_y}$$

untuk $E_s = 2.1 \cdot 10^6$ MPa maka :

$$(p - p') \left(1 - \frac{0.85 f_c'}{f_y} \right) \geq 0.85 b_1 \frac{f_c' d'}{f_y d} \frac{600}{600 - f_y}$$

jika tulangan tekan mencapai kondisi leleh :

$$M_n = C_s (d - d') + C_c (d - a/2)$$

dimana :

$$C_s = A_s' (f_y - 0.85 f_c')$$

$$C_c = 0.85 f_c' a b$$

$$a = \frac{f_y d}{0.85 f_c'} (p - p') \left(1 - \frac{0.85 f_c'}{f_y} \right)$$

jika tulangan tekan tidak leleh, maka :

$$M_n = C_s (d - d') + C_c (d - a/2)$$

dimana :

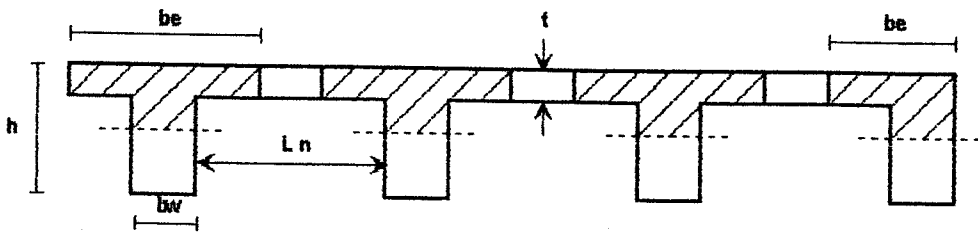
$$C_s = A_s' (f_y - 0.85 f_c')$$

$$C_c = 0.85 f_c' a b$$

$$\epsilon_s' = 0.003 \left(1 - \frac{d}{x'} \right)$$

d. Konstruksi Balok T

Penampang suatu balok dianalisa sebagai balok T apabila dalam pelaksanaannya di lapangan badan balok dicor secara monolit dengan pelat lantai yang didukungnya. Dengan kata lain terjadi ikatan yang menyatu antara pelat lantai dan baloknya.



Gambar 3.2. Lebar efektif balok T

Lebar badan pelat efektif yang dianggap menjadi bagian dari balok T diambil tidak melebihi harga $1/4$ bentang balok dan lebar efektif dari flens yang membentang dari tiap sisi badan balok tidak boleh melebihi :

- 1 delapan kali tebal pelat ($8t$)
- 2 setengah jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan ($1/2 L_n$)
(ayat 3.1.10 butir 2 SKSNI T-15-1991-03).

Untuk balok T bagian dalam dapat digambarkan sebagai berikut :

jika dinyatakan dalam notasi matematis, maka :

- $b_e \leq 1/4 L$
- $b_e \leq b_w + 8t$
- $b_e \leq L_n$

Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi saja, maka lebar efektif flens yang membentang tidak boleh lebih dari :

- 1 seperduabelas dari bentang balok
- 2 enam kali tebal pelat
- 3 setengah jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan

(SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10 butir 3)

atau bila ditulis dalam bentuk persamaan matematis :

- $b_E \leq 1/12 L$
- $b_E \leq b_w + 6t$
- $b_E \leq b_w + 1/2 L_n$

Perhitungan kekuatan momen nominal M_n dari suatu penampang balok T dibagi dalam dua katagori yaitu :

- 1 Bila tinggi a dari blok tegangan tekan persegi adalah sama atau lebih kecil dari tebal flens t , maka balok T dihitung sebagai balok segi empat persegi panjang biasa atau disebut juga balok T palsu dengan lebar efektif penampang flens b_e .
- 2 Bila tinggi a tersebut lebih besar dari t , maka balok T tersebut dianalisa sebagai balok T sesungguhnya sehingga perhitungan momen nominal penampang balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$M_n = C_1 (d - a/2) + C_2 (d - t/2)$$

dimana :

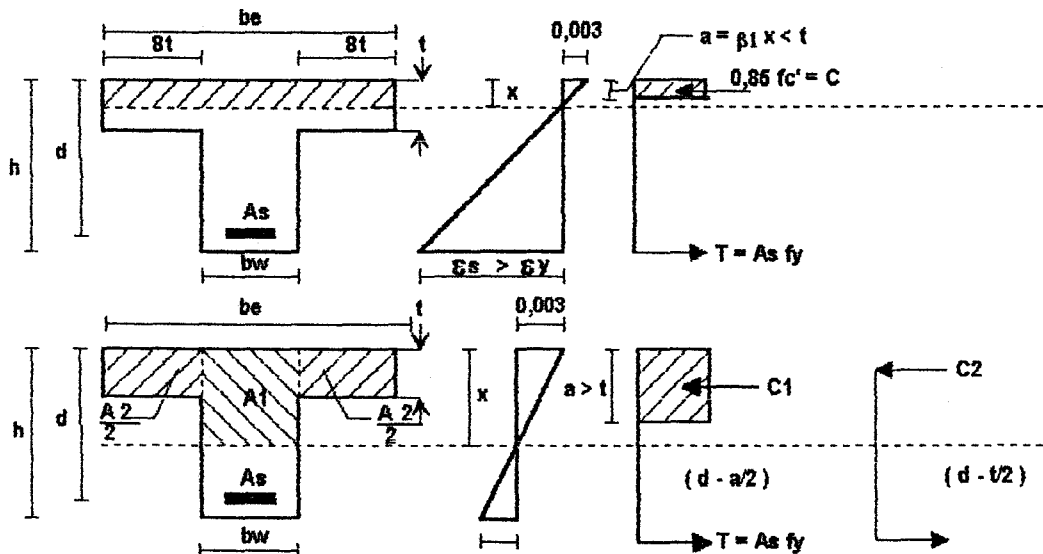
$$C_1 = 0.85 f_c' b_w a$$

$$C_2 = 0.85 f_c' (b_e - b_w) t$$

$$a = \frac{T - C_2}{0.85 f_c' b_w}$$

Gambar 3.3. memberikan penjelasan mengenai analisa kekuatan balok

T sesungguhnya dengan memakai tulangan tunggal.



Gambar 3.3. Penampang T Palsu dan Penampang T Asli

e. Penulangan Geser dan Torsi Balok Anak

Desain penampang yang mampu menerima geser harus didasarkan pada nilai kekuatan bahan rencana sebagai berikut :

$$V_u \leq \phi V_n$$

dimana V_u merupakan gaya geser berfaktor yang ditinjau pada penampang balok dan V_n merupakan kuat geser nominal yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s$$

Besarnya V_c bervariasi tergantung dari beban yang bekerja pada struktur. untuk struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja, berlaku rumus :

$$V_c = 1/6 f_c' b_w d \dots\dots\dots (\text{ ayat 3.4.3 butir 1})$$

dan untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial dirumuskan sebagai berikut :

$$V = 1 + \frac{N_u}{14 A_g} (1/6 f_c' b_w d) \dots\dots (\text{ ayat 3.4.4 pers 3.4.4 })$$

Apabila balok menerima beban kombinasi dengan torsi dimana pengaruh torsi tersebut tidak dapat diabaikan, maka harus dipenuhi pula persyaratan kedua yaitu :

$$T_u \leq \phi T_n$$

dimana : T_u = Momen torsi berfaktor pada penampang yang ditinjau

T_n = Momen torsi nominal, yang dihitung dengan persamaan :

$$T_n = T_c + T_s$$

T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

$$T_c = \frac{1/15 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \sum x^2 y^2}{\left(1 + \left[\frac{0.4 M_u}{\phi T_n} \right]^2 \right)^{1/2}}$$

T_s = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

$$T_s = T_n - T_c$$

Namun kekuatan tulangan torsi yang dipasang harus lebih kecil dari 4 kali kekuatan torsi yang mampu dipikul oleh beton ($T_s < 4 T_c$)
 Jika ketentuan ini tidak dapat dipenuhi maka ukuran penampang balok harus diperbesar.

Jika $T_u \leq \phi [(f_c' / 24) S x^2 y]$, maka torsi yang ada dapat diabaikan pengaruhnya (ayat 3. 4. 5 butir 5 sub butir 3) dan kekuatan penampang dihitung berdasarkan kekuatan geser dan lentur saja.

1. Jika $V_u < 1/2 fV_c$ maka dipasang sengkang yang dipasang adalah sengkang praktis.

2. Jika $1/2 fV_c < V_u < fV_c$, maka dipasang tulangan geser minlum

$$A_{v_{min}} = \frac{bws}{3fy}(Ayat 3.4.5 butir 3 sub butir 1)$$

3. Jika $V_u > fV_c$, maka dipasang tulangan geser dengan luas penampang tulangan :

$$A_v = \frac{(V_u - fV_c) s}{f fy d} ..(Ayat 3.4.5 butir 6 subbutir 1)$$

Apabila torsi diperhitungkan dalam perencanaan maka persyaratan untuk tulangan geser dan torsi adalah sebagai berikut :

1 Jika $V_u < 1/2 \phi V_c$, maka dipasang tulagnn torsi minimum saja dengan $2 A_t = \frac{bws}{3fy}$ dimana A_t merupakan luas penampang satu kaki sengkang tertutup dalam daerah sejarak s yang menahan torsi, juga diperlukan tulangan longitudinal dengan luas total yang menahan torsi A_l (Ayat 3.4.5 butir 5 sub butir 1).

2 Jika $T_u > \phi T_c$ dan $1/2 \phi V_c < V_u < \phi V_c$, maka dipasang tulangan kombinasi geser dan torsi :

$$A_v + 2 A_t = (b_w \cdot s) / (3 \cdot f_y)$$

dan tulangan memanjang A_l . (ayat 3.4.5 butir 5 sub butir 1).

- 3 Jika $T_u > \phi T_c$ dan terdapat momen torsi untuk keseimbangan, juga apabila terdapat pengurangan momen torsi akibat redistribusi gaya-gaya dalam, maka torsi maksimum dapat dikurangi menjadi sebesar :

$$T_u = \phi (f_c' / 9) S x^2 y / 3$$

maka perlu kombinasi penulangan V_u dan T_u dengan nilai luas penampang sengkang A_t sebagai berikut :

$$A_t = \frac{(T_u - \phi T_c) s}{\phi f_y \text{ at } x, y,}$$

dan tulangan memanjang A_l (ayat 3.4.5 butir 5 sub butir 2).

- 4 Kuat momen torsi T_s tidak boleh melebihi nilai $4 T_c$, (Ayat 3.4.6 butir 9 sub butir 4). Jika ketentuan ini tidak dipenuhi maka ukuran penampang balok harus diperbesar.

Contoh perhitungan tulangan geser dan torsi dapat dilihat pada perencanaan penulangan balok anak.

4.4.4. Perencanaan Penulangan Balok Anak

Sebagai contoh perhitungan penulangan balok terhadap lentur dan kombinasi antara geser dan torsi diambil balok anak lantai 1A dengan panjang bentang 3 m.

Contoh Perhitungan :

Penulangan Balok Terhadap Lentur dan Kombinasi antara Geser dan Torsi.

Diambil contoh balok anak lantai 1A dengan panjang bentang 3 m.

I. Penulangan lentur

Data penampang balok :

Tinggi (h)	: 500 mm
Lebar (b)	: 300 mm
Deking beton	: 40 mm
Diameter tulangan utama	: D 25
Diameter sengkang	: D 12
Mutu beton (f_c')	: 25 MPa
Mutu baja (f_y)	: 320 MPa
ρ_{maks}	: 0,02761
ρ_{min}	: 0,004385

Dari hasil analisa balok anak lantai parkir dengan menggunakan software SAP'90 didapatkan gaya-gaya dalam (M_u) seperti yang terdapat dalam tabel

Perhitungan Penulangan Lentur Balok Anak

a. pada tumpuan

$$M_u = 1.67 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$d = 500 - 40 - 12 - 25/2 = 435.5 \text{ mm}$$

direncanakan besar $\delta = 0.5$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{(1-\delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{(1-0.5) 1.67 \cdot 10^8}{0.8 \times 300 \times 435.5^2} \\ &= 1.83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times 1.83}{320}} \right) \\ &= 0.0060002\end{aligned}$$

Rasio tulangan tekan :

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{\delta M_u}{\phi \cdot f_y \cdot (d-d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0.5 \times m}{0.8 \times 320 \times (435.5 - 84.5) \times 300 \times 435.5} \\ &= 0.00672517\end{aligned}$$

Rasio tulangan tarik :

$$\begin{aligned}\rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0.0060002 + 0.00672517 = 0.012725\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.012725 \times 300 \times 435.5 \\ &= 1662.57 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan 4D25 (A_s ada = 1963.5 mm²)

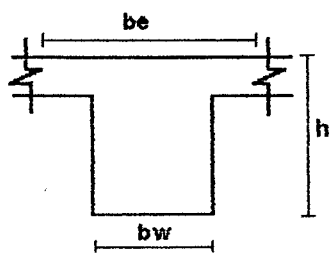
$$\begin{aligned}A_s' &= \rho' \cdot b \cdot d \\ &= 0.006725 \times 300 \times 435.5 \\ &= 831.29 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan 2D25 (A_s' ada = 981.8 mm²)

b. Pada lapangan

$$\begin{aligned}M_u &= 6.40 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \\ d &= 500 - 40 - 12 - 25/2 \\ &= 435.5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol balok T :



$$be = 1/4 L$$

$$= 1/4 \times 900$$

$$= 225 \text{ cm}$$

$$be = bw + 16 t$$

$$= 30 + 16 \times 15$$

$$= 270 \text{ cm}$$

$$be = bw + Ln$$

$$= 300 + 870$$

$$= 1170 \text{ cm}$$

Jadi $be = 225 \text{ cm}$ (terkecil)

$$Rn = \frac{(1-\phi)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{(1-0.5) \cdot 6.40 \cdot 10^6}{0.8 \times 300 \times 435.5^2}$$

$$= 0.0703$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times 0.0703}{320}} \right)$$

$$= 0.00022$$

$$\rho' = \frac{\delta Mu}{\phi \cdot fy \cdot (d-d') \cdot b \cdot d}$$

$$= \frac{0.5 \times 6.40 \times 10^6}{0.8 \times 320 \times (435.5 - 64.5) \times 300 \times 435.5}$$

$$= 0.000257$$

$$\rho = \rho \delta + \rho' = 0.0004779$$

$$\rho_{\text{terpakai}} = 4/3(0.000479) = (\text{SKSNI pasal 3.3.5.2})$$

$$a = \rho \frac{M_u}{0.85 \cdot f_c'} \cdot x d$$

$$= 0.000637 \times \frac{6.40 \cdot 10^6}{0.85 \times 25} \times 435.5$$

$$= 4.179 \text{ mm} < t = 15 \text{ mm} \longrightarrow \text{Balok T palsu}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi (d - a/2) f_y}$$

$$= \frac{6.40 \times 10^6}{0.8 \times (435.5 - 4.179/2) \times 320}$$

$$= 57.41 \text{ mm}^2$$

pakai tulangan 2D25 ($A_s = 981.8 \text{ mm}^2$)

$$A_s' = 0.5 \times A_s$$

$$= 0.5 \times 57.41$$

$$= 28.70 \text{ mm}^2$$

pakai tulangan 2D25 ($A_s' = 981.8 \text{ mm}^2$)

♦ Kontrol momen

$$\rho_{\text{ada}} = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{981.8}{300 \times 435.5}$$

$$= 0.00751$$

$$\rho'_{\text{ada}} = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{981.8}{300 \times 435.5}$$

$$= 0.00751$$

$$A = \rho \delta \left(1 - \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \right)$$

$$= 0.00751 - 0.00751 \left(1 - \frac{0.85 \times 25}{320} \right)$$

$$= 0.000499$$

$$B = 0.85 \beta_1 \left(\frac{f_c' \cdot d'}{f_y \cdot d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$= 0.85 \times 0.85 \times \frac{25 \times 64.5}{320 \times 435.5} \left(\frac{600}{600 + 320} \right)$$

$$= 0.0179$$

Ternyata $A < B$, maka tulangan tekan belum leleh,

$$a = 0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot b = 0.85 \times 25 \times 0.85 \times 300 = 5418.75$$

$$b = 0.003 \cdot A_s' \cdot E_s - 0.85 \cdot f_c' \cdot A_s' - A_s \cdot f_y$$

$$= 0.003 \times 981.8 \times 2.1 \times 10^5 - 0.85 \times 25 \times 981.8 - 981.8 \times 320$$

$$= 0.0000283$$

$$c = - 0.003 \cdot A_s' \cdot d' \cdot E_s$$

$$= - 0.003 \times 981.8 \times 64.5 \times 2.1 \times 10^5$$

$$= - 0.399 \times 10^7$$

Dari persamaan abcdiperoleh harga letak garis netral $x_{12} = 63.53 \text{ mm}$

$$a = 0.85 \times 63.53 = 54.00$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0.85 \cdot f_c') = 293148.4375 \text{ MPa}$$

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 344266.3274 \text{ MPa}$$

$$M_n = C_s(d - d') + C_c(d - a/2)$$

$$= 293148.4375 (435.5 - 64.5) + 344266.3274 (435.5 - 54)$$

$$= 249390424.176 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 0.85 M_n$$

$$= 0.85 \times 249390424.176$$

$$= 2.00 \times 10^8 \text{ Nmm} > 6.40 \times 10^5 \text{ Nmm (OK)}$$

II. Penulangan geser dan torsi

a. Penulangan geser

Gaya geser pada :

$$\text{tumpuan kiri : } V_{ut} \text{ kiri} = 13090 \text{ kg}$$

tumpuan kanan : V_{ut} kanan = 13090 kg

Tulangan geser $\phi 12$ mm

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot \pi / 4 \cdot 12^2 \\ &= 226 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

♦ Sumbangan kekuatan geser beton:

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \frac{1}{8} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,6 \times \frac{1}{8} \sqrt{25 \times 300 \times d} \\ &= 65325 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ sejarak } d &= \frac{2244}{2366} + 4564 \\ &= 36563 \text{ kg} = \text{N} \end{aligned}$$

$V_u > \phi V_c$ Butuh tulangan geser

♦ Gaya geser yang harus diterima oleh tulangan geser:

$$\begin{aligned} \phi V_s &= V_n - \phi V_c \\ &= 130900 - 65325 \\ &= 152841.7 \text{ N} \end{aligned}$$

♦ Jarak tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} s &= \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s} \\ &= \frac{0,8 \times 2 \times 113,1 \times 320 \times 435,5}{152841,7} \\ &= 206,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d/2 \\ &= 435,5/2 \\ &= 217,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan geser D12-200 mm

b. Penulangan torsi minimum

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \\ &= \frac{300 \times 200}{3 \times 320} \\ &= 62.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_v \text{ ada} = 113.1 \text{ mm}^2 > A_v \text{ min } 62.5 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan torsi boleh diabaikan.

Tulangan torsi memanjang :

$$x_1 = 300 - 2 \times 40 - 12 = 208 \text{ mm}$$

$$y_1 = 500 - 2 \times 40 - 12 = 408 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{b_w}{3 \cdot f_y} (x_1 + y_1) \\ &= \frac{300}{3 \times 320} (208 + 408) \\ &= 192.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal ini disebarakan pada ketiga bagian penampang tulangan balok, yaitu tulangan atas, tulangan tengah, tulangan bawah dan ditambahkan pada tulangan akibat lentur.

$$\text{Masing-masing sisi dipasang } 1/3 A_l = 1/3 \times 192,5 = 64.17 \text{ mm}^2$$

Tulangan atas :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{total}}} &= A_{s_{\text{lentur}}} + A_l \\ &= 1662.57 + 64.17 \\ &= 1726.74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan praktis 4D25 ($A_s \text{ ada} = 1963.5 \text{ mm}^2$)

Tulangan tengah :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{total}}} &= A_l \\ &= 64.17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan praktis 2D12 (A_s ada = 226.2 mm^2)

Tulangan bawah :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{total}}} &= A_{s_{\text{lentur}}} + A_I \\ &= 891.29 + 64.17 \\ &= 955.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan praktis 2D25 (A_s ada = 981.8 mm^2)

III. panjang penyaluran

panjang penyaluran tulangan tarik :

panjang penyaluran tulangan deform D25 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_{db} &= 0.02 \cdot A_b \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \\ &= 0.02 \times 490.9 \times \frac{320}{25} \\ &= 125.67 \text{ mm} \quad \text{dipakai } 130 \text{ mm} \end{aligned}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} L_{db} &= 0.06 \cdot d_b \cdot f_y \\ &= 0.06 \times 25 \times 320 \\ &= 480 \text{ mm dipakai } 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Akibat top bar effect (tulangan atas) :

$$\begin{aligned} L_{db} &= 1.4 \cdot L_{db} \\ &= 1.4 \times 130 = \text{mm} \end{aligned}$$

panjang penyaluran tulangan tekan :

panjang penyaluran tulangan deform D25 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}Ldb &= \frac{db \cdot fy}{4 \sqrt{fc'}} \\&= \frac{25 \times 320}{4 \times \sqrt{25}} \\&= 400 \text{ mm} \quad \text{dipakai 400 mm}\end{aligned}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}Ldb &= 0.04 \cdot db \cdot fy \\&= 0.04 \times 25 \times 320 \\&= 320 \text{ mm dipakai 350 mm}\end{aligned}$$

panjang penyaluran kait standar dari tulangan deform D25 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}Lhb &= 100 \cdot \frac{db}{\sqrt{fc'}} \\&= 100 \times \frac{25}{\sqrt{25}} \\&= 500 \text{ mm} \quad \text{dipakai 500 mm}\end{aligned}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}Ldh &= Lhb \cdot \frac{fy}{400} \cdot 0.7 \\&= 500 \times \frac{320}{400} \times 0.7 \\&= 280 \text{ mm dipakai 300 mm}\end{aligned}$$

tetapi tidak kurang dari :

$$\begin{aligned}Ldh &= 8 \cdot db \\&= 8 \times 25 \\&= 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}\end{aligned}$$



4.5. Perencanaan Basement

4.5.1. Perencanaan Lantai Semibasement

Pada perencanaan pelat lantai basement pada intinya adalah sama seperti perencanaan pelat lantai. Tetapi hal penting yang harus diperhatikan adalah adanya gaya uplift akibat tekanan air tanah.

☐ Pembebanan

☐ Beban mati

$$\text{- berat sendiri} = 0,20 \cdot 2400 = 480 \text{ Kg/m}^2$$

☐ Beban hidup

$$\text{- lantai parkir dasar} = 800 \text{ Kg/m}^2$$

☐ Uplift air tanah

$$\text{- uplift 1,65 m} = 1000 \times (1,65 - 0) = 1650 \text{ Kg/m}^2$$

☐ beban ultimate

$$\text{- } U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$\text{- } U_1 = 1,2 \cdot 480 + 1,6 \cdot 800 = 1856 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{- } U_2 = 1,2 \cdot 480 - 1,6 \cdot 1650 = - 2064 \text{ Kg/m}^2 \text{ (ke atas)}$$

Perhitungan lantai basement

Berdasarkan asumsi tumpuan pelat jepit-elastis dan memakai tabel momen pelat dalam PBI'71 dengan perbandingan $\frac{I_y}{I_x} = \frac{860}{760} = 1,13$ maka diperoleh :

$$\text{- } M_{lx} = - M_{tx} = 0,001 \times 1856 \times 7,6^2 \times 47,2 = 5059,96 \text{ Kg.m}$$

$$\text{- } M_{ly} = - M_{ty} = 0,001 \times 1856 \times 7,6^2 \times 38 = 4073,7 \text{ Kg.m}$$

☐ Penulangan arah x

$$\text{- } f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

- $f_y = 320 \text{ Mpa}$
- tebal pelat lantai basement = 200 mm
- deking = 50 mm
- tulangan pokok = $\phi 12$
- $d = 200 - 70 - 0,5 \cdot 12 = 124 \text{ mm}$

- $\rho_{\min} = 0,004375$

- $\rho_{\max} = 0,02761$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{320}{0,85 \cdot 25} \\ &= 15,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright R_n &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{50599600}{0,8 \cdot 1000 \cdot 124^2} \\ &= 4,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,06 \cdot 4,11}{320}} \right) \\ &= 0,014 > \rho_{\min} = 0,004375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright A_s &= 0,014 \cdot 1000 \cdot 124 \\ &= 1736 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 12 - 75$ ($A_s = 1769,32 \text{ mm}^2$)

4.5.2. Perencanaan Dinding Semibasement

Dalam perencanaan dinding basement diasumsikan sebagai dinding penahan tanah. Dinding basement direncanakan untuk mampu memikul beban tekanan tanah ke samping, termasuk pengaruh muka air tanah .

Kondisi tanah direncanakan yang terkritis yaitu dalam keadaan jenuh, karena tanah dapat menjadi jenuh secara keseluruhan pada seluruh bagian tinggi semibasement akibat adanya hujan yang cukup lama.

Gaya lateral yang terjadi

Dengan mengambil pias 1 meter lebar dinding maka gaya lateral yang terjadi :

$$\begin{aligned}ka &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\&= \tan^2 \left(45 - \frac{20}{2} \right) \\&= 0,49\end{aligned}$$

$$\sigma = K_a \cdot \gamma' \cdot h = 0,49 \times (1,59-1) \times 1,65 = 0,477 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 1000 \times 1,65 = 1650 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{\text{tot}} = 477 + 1650 = 2127 \text{ kg/m}^2$$

Tekanan tanah kesamping akibat gempa :

Berdasarkan Braja Das dalam Mekanika Tanah Jilid 2, didapat gaya aktif pada dinding penahan akibat gempa dengan persamaan Seed dan Whitman dengan langkah-langkah sebagai berikut :

K_v dianggap = 0, sedangkan K_h dianggap = 0,1

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,1}{1 - 0} \right) = 5,71^\circ$$

$$\alpha' = \alpha + \beta = 5,71$$

$$\theta' = \theta + \beta = 5,71$$

$$\begin{aligned}K_a(\alpha', \theta') &= \frac{\cos^2(\phi - \theta')}{\cos^2 \theta' \cdot \cos(\delta + \theta') \left[1 + \left(\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha')}{\sin(\delta + \theta') \cos(\theta' - \alpha')} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2} \\&= \frac{\cos^2(20 - 5,71)}{\cos^2(5,71) \cos(17 + 5,71) \left[1 + \left(\frac{\sin(20 + 17) \sin(20 - 5,71)}{\sin(17 + 5,71) \cos(0)} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2} \\&= 0,391\end{aligned}$$

$$\frac{\cos^2 \theta}{\cos \beta \cos^2 \theta} = \frac{\cos^2(5,71)}{\cos(5,71) \cos^2(0)} = 0,995 \approx 1$$

Untuk air :

$$\beta = 0$$

$$Ka(\alpha', \theta') = \frac{\cos^2(0)}{\cos^2(0) \cos(0) \left[1 + \left(\frac{\sin(0) \sin(0)}{\sin(0) \cos(0)} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2} = 1$$

$$\sigma_{ae} = \gamma h (1 - kv) [Ka(\alpha', \theta')] \left(\frac{\cos^2 \theta'}{\cos \beta \cos^2 \theta} \right)$$

$$= 0,59 \times 1,65 \times (1 - 0,1) \times 0,39 \times 1 = 342,57 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_w = 1650 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan tekanan tanah diatas, maka yang paling menentukan adalah akibat tekanan tanah statis.

Perhitungan Penulangan :

Akibat tekanan tanah statis :

$$P = \frac{1}{2} \times \sigma \times h = \frac{1}{2} \times 477 \times 1,65 = 393,525 \text{ kg/m}$$

$$P = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h = \frac{1}{2} \times 1000 \times 1,65 = 825 \text{ kg/m}$$

$$P_{tot} = 393,525 + 825 = 1218,525 \text{ kg/m}$$

$$M_{tot} = P_{tot} \times h/3 = 1218,525 \times 0,55 = 670,19 \text{ kgm} \quad (\text{Menentukan})$$

Akibat gempa :

$$z = \frac{Pa(\frac{h}{3}) + \Delta P_{ae}(0,6h)}{P_{ae}}$$

dimana z = jarak garis kerja gaya Pae dari dasar

$$P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$$

dimana : P_a = gaya aktif akibat tekanan tanah statis

ΔP_{ae} = penambahan gaya aktif akibat gempa

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \times \sigma_{ae} \times h = \frac{1}{2} \times 342,57 \times 1,65 = 282,62 \text{ kg/m}$$

$$P_{aew} = 825 \text{ kg/m}$$

Letak gaya :

$$z = \frac{393,525(\frac{1,85}{3}) + (282,62 - 393,525)(0,6 \times 1,65)}{282,62} = 0,38 \text{ m}$$

$$M_{tot} = (282,62 \times 0,38) + (825 \times \frac{1}{3} \times 1,65) = 561,15 \text{ kgm}$$

Penulangan vertikal :

$$\begin{aligned} \blacktriangleright m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{320}{0,85 \cdot 25} \\ &= 15,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright R_n &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{6701900}{0,8 \cdot 1000 \cdot 95^2} \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,06 \cdot 0,93}{320}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho = 0,00297 < \rho_{min} = 0,00438$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright A_s &= 0,00438 \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 416,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 10 - 180$ ($A_s = 436 \text{ mm}^2$)

Penulangan horisontal :

Dengan menganggap tulangan horisontal tidak menahan lentur, maka rasio tulangan diambil rasio tulangan minimum, yaitu $\rho = 0,00438$

$$\begin{aligned} \text{sehingga } A_{s_{perlu}} &= 0,00438 \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 416,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 10 - 180$ ($A_s = 436 \text{ mm}^2$)

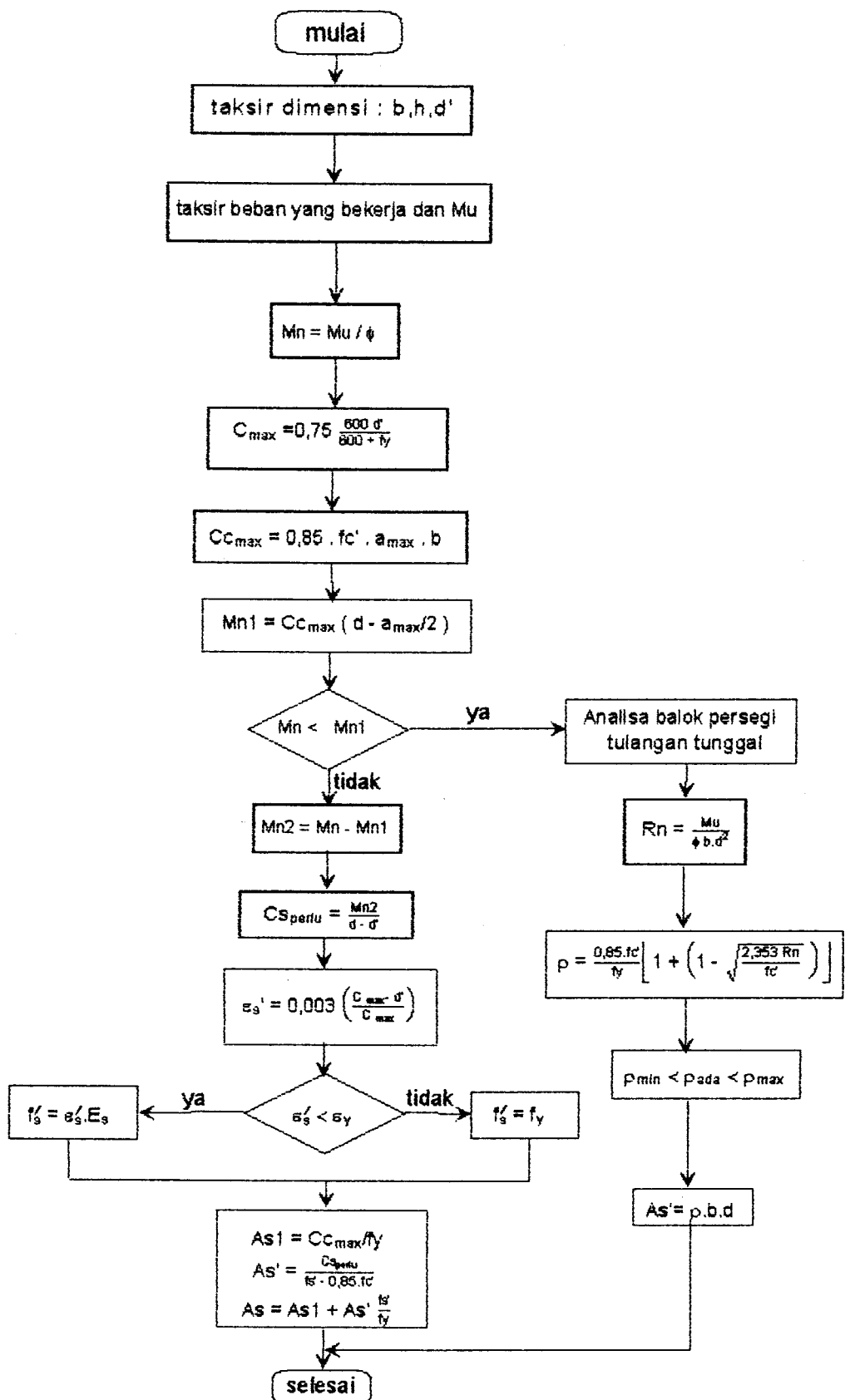


DIAGRAM ALIR PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI

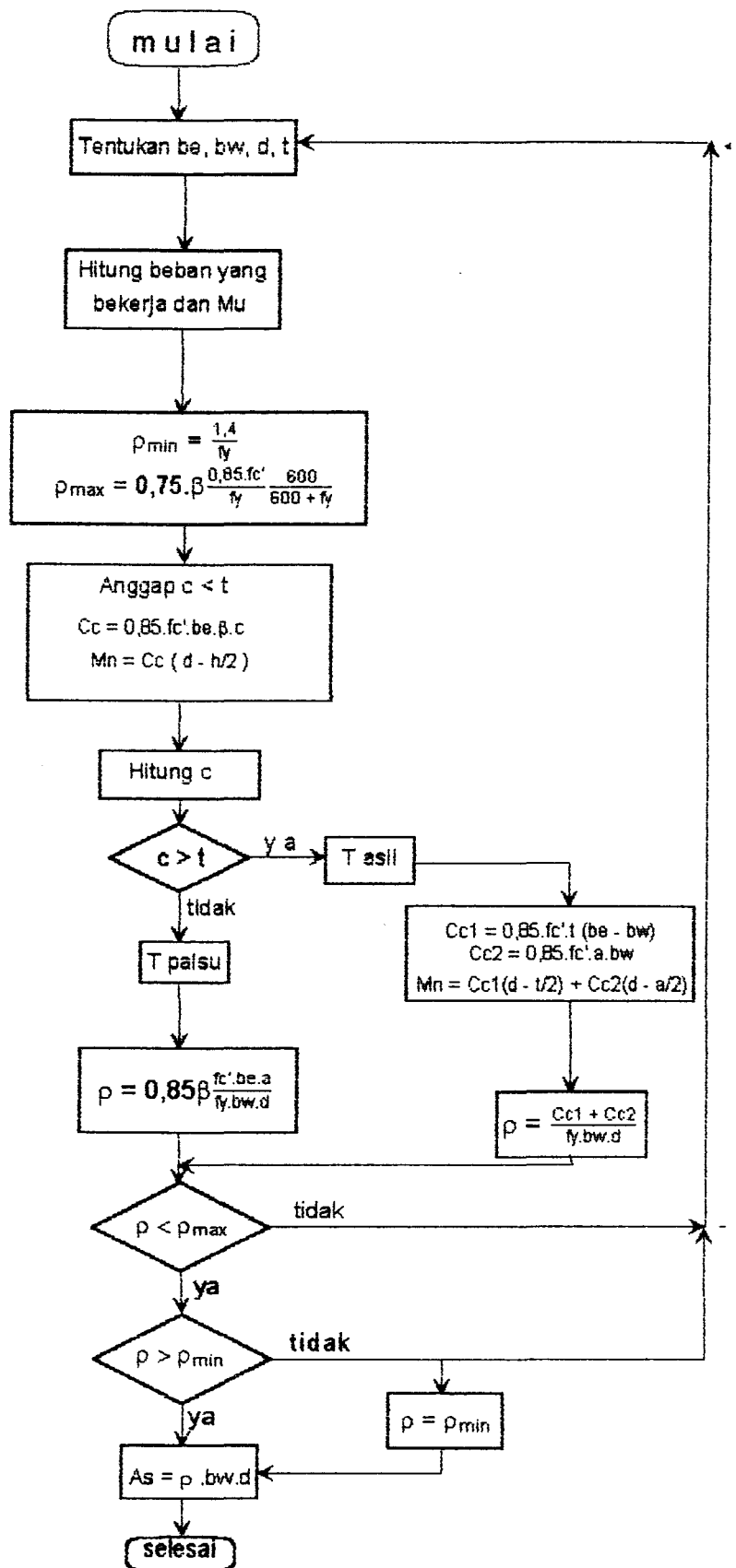
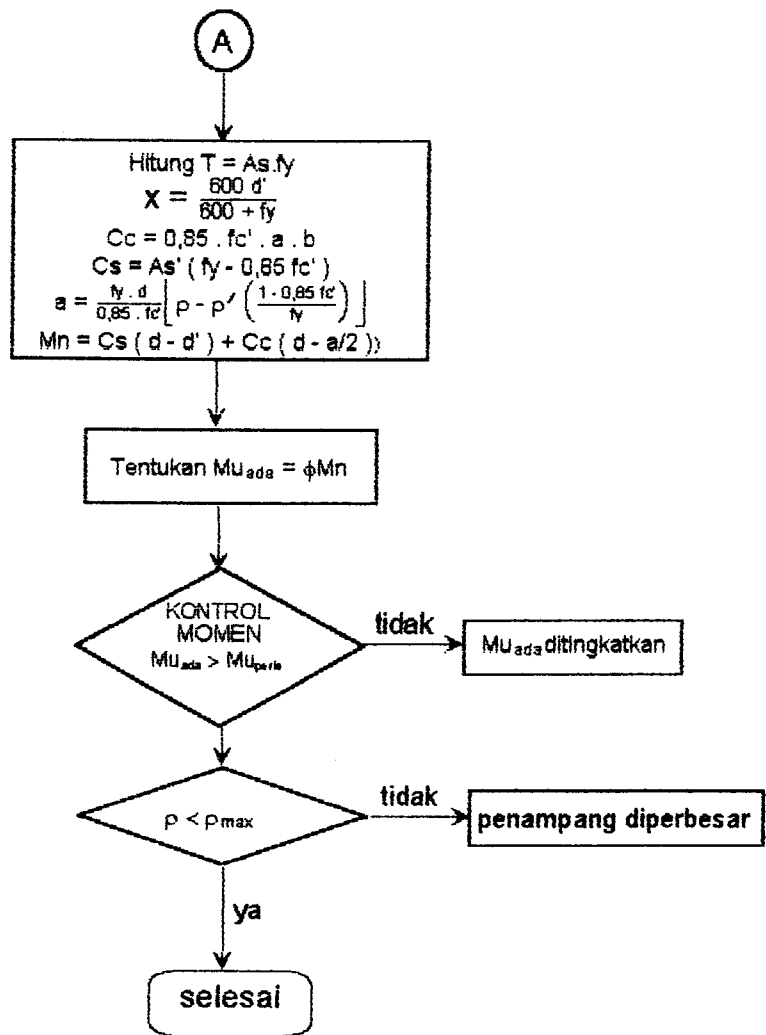
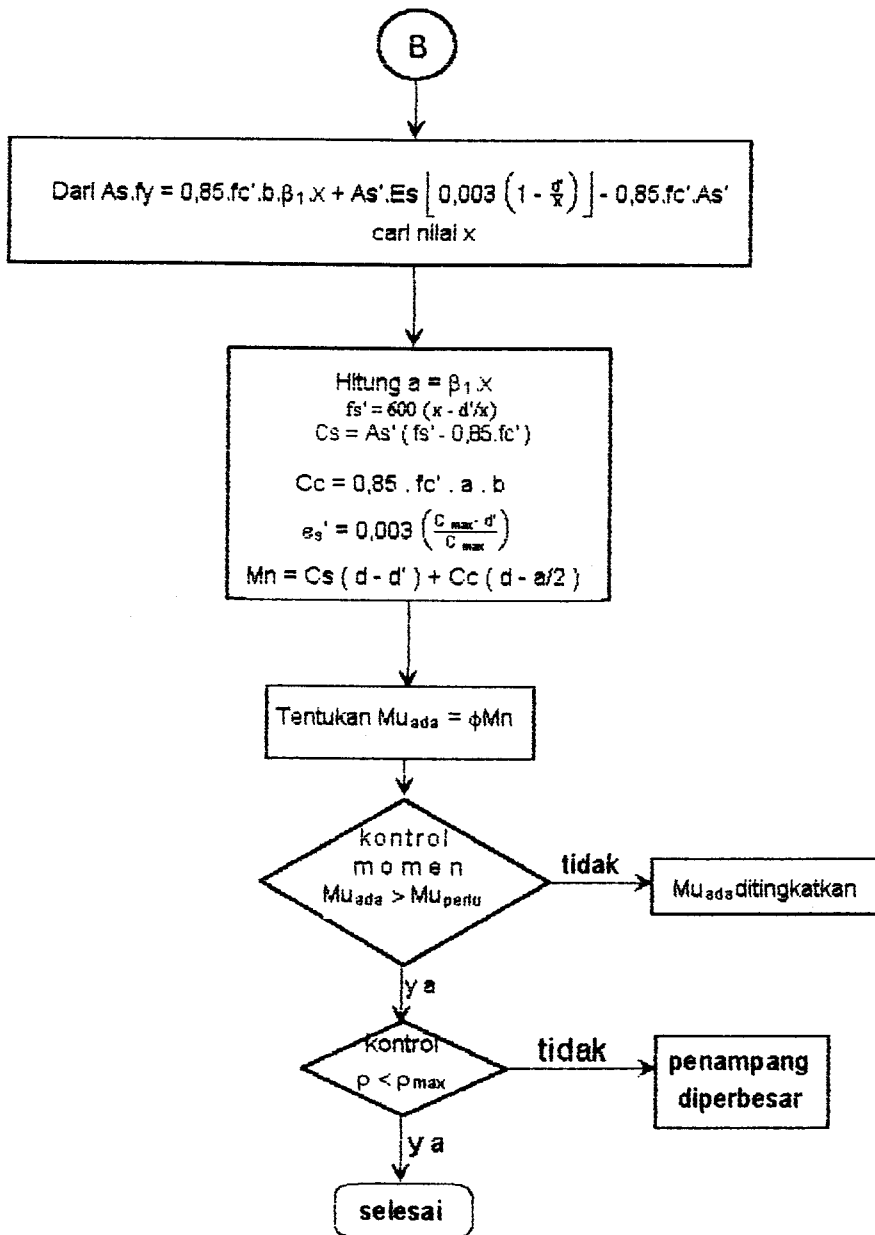


DIAGRAM ALIR PENULANGAN LENTUR BALOK T





BAB V

ANALISA STRUKTUR UTAMA

5.1. KRITERIA DESAIN

Struktur utama adalah sistem rangka bangunan yang merupakan rangkaian dari balok, kolom, serta dinding geser dari beton bertulang. Sejumlah balok dengan bentang 16 dan 8 m direncanakan dengan sistem beton pratekan menerus.

Selain berfungsi untuk meneruskan seluruh beban gravitasi ke pondasi, struktur utama juga diproporsikan sebagai sistem penahan beban lateral dari konstruksi gedung yang direncanakan di mana pelat-pelat lantai diasumsikan sebagai diafragma yang sangat kaku pada bidangnya. Dinding-dinding geser diidealisasikan sebagai elemen pelat (*shell*).

Balok-balok anak yang telah dihitung sebelumnya bukan merupakan struktur utama, sehingga pengaruhnya hanya sebagai beban-beban terpusat saja.

Dalam memenuhi persyaratan perencanaan seismik komponen struktur menurut Standar Beton 1991, struktur utama direncanakan dengan tingkat daktilitas terbatas. Pada konsep desain ini, struktur direncanakan sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu berperilaku inelastis

terhadap beban siklis gempa tanpa mengalami keruntuhan getas. Faktor jenis struktur K minimum ditetapkan sebesar 2,0.

Mutu bahan yang dipakai :

- ♦ Beton K-400 ($f_c' = 45 \text{ MPa}$), untuk balok beton pratekan.
- ♦ Beton K-250 ($f_c' = 25 \text{ MPa}$), untuk balok beton bertulang biasa (non pratekan).
- ♦ Beton K-250 ($f_c' = 25 \text{ MPa}$), untuk kolom.
- ♦ Baja tulangan non-pratekan $f_y = 320 \text{ MPa}$.
- ♦ Tendon pratekan dari sistem kawat untai VSL dengan $f_{pu} = 1899 \text{ MPa}$.

5.2. ANALISA STRUKTUR

Pada dasarnya tujuan utama analisa struktur adalah untuk mendapatkan besar dan arah gaya-gaya dalam yang diterima setiap komponen struktur. Pada perencanaan ini analisa dilakukan dengan bantuan paket program SAP ' 90 dengan prinsip-prinsip metode elemen hingga (finite element methode).

Struktur utama merupakan sistem rangka terbuka dan dimodelkan sebagai *3D-Space Frame* (portal ruang). Pelat-pelat lantai sebagai diafragma yang sangat kaku pada bidangnya, menyebabkan semua titik pada tiap taraf lantai tidak dapat bergerak relatif diantara sesamanya. Perilaku diafragma ini diwakili oleh sebuah *Master of Joints* yang terletak pada pusat massa dari tiap taraf lantai. Kemudian untuk menghemat kapasitas memory komputer yang ada, dinding geser diidealisasikan sebagai elemen-elemen *shell*.

Analisa yang dilakukan adalah analisa statis dan dinamis. Sehubungan dengan analisa dinamis ini, tabel-tabel berikut menunjukkan prosedur perhitungan pusat massa dan momen inersia massa tingkat struktur di mana letak sumbu referensi diambil sama dengan sumbu global untuk pendefinisian dari struktur.

Pengaruh beban dinamis, dalam hal ini beban gempa, dianalisa dengan cara respon spektrum. Pada prinsipnya analisa dinamis di sini merupakan penyelesaian dari persamaan kesetimbangan dinamis (dynamic equilibrium equations) sehubungan dengan adanya respon dari struktur akibat adanya pergerakan tanah, yang juga dapat dinyatakan sebagai :

$$M \ddot{u} + C \dot{u} + K u = M \ddot{u}_g$$

di mana :

M = matrik massa diagonal

C = matrik redaman

K = matrik kekakuan

\ddot{u} = matrik percepatan struktur

\dot{u} = matrik kecepatan struktur

u = matrik perpindahan struktur

\ddot{u}_g = matrik percepatan

Dengan menggunakan SAP ' 90 akan menyelesaikan sistem persamaan ini dengan cara pendekatan supsuperposisi respon spektrum.

5.3. PEMBEBANAN STRUKTUR

Beban-beban luar yang terdiri dari beban mati dan beban hidup yang bekerja pada pelat disalurkan ke balok-balok induk berupa beban merata ekuivalen perunit panjang balok. Di samping itu balok-balok anak menyalurkan beban-beban yang dipikulnya sebagai beban-beban terpusat di atas balok induk. Balok induk meneruskan beban ke kolom yang akhirnya sampai ke pondasi untuk diteruskan ke tanah dasar.

Beban-beban yang bekerja pada struktur utama meliputi :

- ♦ Beban mati (D), yang terdiri dari beban mati pelat, balok anak, tangga dan berat tembok.
- ♦ Beban hidup (L), yang terdiri dari beban hidup pelat dan tangga.
- ♦ Beban gempa (E), dianalisa dengan menggunakan SAP ' 90.

Kombinasi pembebanan yang dipergunakan, didasarkan pada SKSNI pasal 3.2.2 , yaitu :

1. Kuat perlu (U) yang menahan beban mati D dan beban hidup L paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,2 D + 1,6 L_R \quad (\text{SKSNI pasal 3.2.2.1})$$

di mana :

L_R adalah beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan persyaratan PPIUG ' 83 pasal 3.5 yang menyebutkan bahwa untuk perencanaan balok-balok induk dan portal-portal dari sistem struktur pemikul beban dari suatu gedung, maka untuk perhitungan peluang terjadinya nilai-nilai beban hidup yang berubah-ubah, maka beban

hidup dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada penggunaan gedung yang ditinjau. Untuk gedung yang berfungsi sebagai bank dan juga sebagai perkantoran mempunyai nilai koefisien reduksi beban hidup sebesar 0,60. Ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 PPIUG ' 83.

2. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa (E) harus ikut serta diperhitungkan dalam perancangan, maka nilai U diambil sebesar :

$$U = 1,05 (D + L_R + 2E) \quad (SKSNI \text{ pasal } 3.2.2.3)$$

di mana :

- ♦ L_R adalah beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan persyaratan PPIUG ' 83 Tabel 3.3 yang menyebutkan bahwa untuk peninjauan gempa maka beban hidup boleh direduksi dengan koefisien reduksi sebesar 0,30 untuk perkantoran dan bank.
- ♦ Beban gempa (E) di atas harus dikalikan dengan faktor jenis struktur (K) yang sesuai. Untuk tingkat daktilitas dua, nilai $K = 2$.

Untuk beban-beban tetap selengkapnya dapat dilihat langsung pada data input untuk struktur utama.

Sehubungan dengan adanya balok-balok pratekan pada struktur, maka dilakukan analisa statis dan dinamis pendahuluan tanpa adanya gaya prategang. Langkah ini dilakukan untuk menentukan besarnya gaya jacking awal yang harus diberikan kepada balok. kemudian untuk memperhitungkan gaya-gaya perlawanan kolom terhadap gaya prategang, maka dilakukan pula

running program untuk setiap tingkat gedung. Akhirnya setelah balok-balok pratekan selesai direncanakan, struktur utama dianalisa kembali baik secara statis maupun dinamis dengan adanya pengaruh gaya prategang akhir.

Khusus untuk beban gempa, percepatan tanah sebagai spektrum percepatan gempa rencana diambil menurut diagram koefisien gempa dasar untuk wilayah gempa 4 dengan kondisi tanah lunak, seperti yang terdapat dalam PPTGIUG ' 83 Gambar 3.3.

5.4. INPUT SAP'90

Pada bagian ini akan dijelaskan secara singkat mengenai input data struktur utama yang dibuat berdasarkan buku petunjuk (manual) dan contoh-contoh SAP 90 yang berhubungan dengan analisa struktur ini.

A. TITLE LINE.

Berisi satu baris kalimat maksimal 70 karakter sebagai identifikasi input data SAP 90.

B. SYSTEM Data Block .

Blok data ini menjelaskan tentang kontrol informasi yang berhubungan dengan struktur yang akan dianalisa.

L : menyatakan jumlah Load Condition.

V : menyatakan jumlah Eigen Value, yaitu jumlah dari mode shape yang akan dihitung pada analisa eigen value dan kemudian dimasukkan ke analisa ragam spektrum.

T : menyatakan toleransi konvergen dari eigen analysis default $T = 0,0001$. PPTGIUG ' 83 bab 2.5.2.1 menyatakan bahwa untuk

analisa ragam spektrum respon dari Struktur-struktur gedung dengan bentuk yang tidak beraturan jumlah ragam yang ditinjau tidak kurang dari 5, tetapi sebagai pedoman, jumlah ragam spektrum yang ditinjau tidak perlu lebih dari tingkatnya.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka nilai eigen value (V) pada analisa ini diambil sebesar 9. Jadi kita akan mendapatkan 9 buah mode shape yang berbeda.

C. JOINT Data Block .

Memuat informasi tentang letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu global X , Y , Z . Pendefinisian joints ini bertujuan untuk membuat geometri dari struktur yang akan dianalisa.

D. RESTRAINTS Data Block.

Memuat informasi mengenai derajat kebebasan (DOF) tiap-tiap joints apakah dilepas (nilai 0) atau dikekang (nilai 1).

- ♦ Perletakan jepit $R = 1,1,1,1,1,1$
- ♦ Dependent joints $R = 0,0,0,0,0,0$
- ♦ Master Joint $R = 0,0,1,1,1,0$

E. MASSES Data Block

Memuat informasi mengenai massa dan momen inersia massa (MMI) dari tiap-tiap lantai yang dinyatakan dalam bentuk : $M = m_x , m_y , m_z , m_{rx} , m_{ry} , m_{rz}$.

Momen inersia massa tiap lantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$MMI = M / 12 (b^2 + d^2) + M D^2$$

di mana :

- ♦ M = massa total dari segmen yang ditinjau.
- ♦ b = lebar dari tiap segmen yang ditinjau.
- ♦ d = panjang dari tiap segmen yang ditinjau.
- ♦ D = jarak dari titik pusat segmen yang ditinjau terhadap titik pusat total segmen.

Langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan massa, titik pusat massa, dan massa moment inersia dari tiap-tiap lantai adalah sebagai berikut :

- ♦ Hitung massa total dari tiap lantai yang meliputi massa pelat, balok, kolom, beban tembok, beban hidup, dan beban-beban lainnya yang berhubungan. (satuan W / g)
- ♦ Hitung letak titik pusat massa, dengan cara mengambil suatu titik referensi, kemudian baru dihitung statis momen terhadap titik referensi tersebut.
- ♦ Bagi statis momen tersebut dengan massa total dari lantai tersebut, sekarang kita telah mendapatkan letak pusat massa dari lantai tersebut.
- ♦ Hitung momen inersia massa dari setiap elemen-elemen lantai tersebut terhadap titik pusat massa dengan rumus :

$$MMI = M / 12 (b^2 + d^2) + M D^2 \quad (\text{Satuan WL}^2 / g)$$

F. FRAME Data Block

Memuat informasi mengenai data-data dari elemen-elemen batang (frame) tiga dimensi pada struktur yang dianalisa meliputi lokasi, property, dan beban yang bekerja pada setiap elemen.

NM : Number of Material, menyatakan jumlah material yang digunakan dalam analisa struktur.

NL : Number of Load Identification, menyatakan jumlah macam beban yang ada pada struktur.

Penulisan macam pembebanan dibedakan antara beban mati dan beban hidup yang nantinya akan dikombinasikan dalam blok data COMBO.

G. LOADS Data Block

Memuat informasi mengenai beban-beban pada joints yang berasal dari beban terpusat balok anak.

H. SPEC Data Block

Memuat informasi mengenai data-data yang berhubungan dengan analisa dinamis yang menggunakan analisa response spectrum.

- A = Sudut eksitasi (satuan derajat)
= 90 yaitu searah dengan sumbu global Y
- S = Faktor skala response spectrum
= $9,81 \text{ m/s}^2$ (default)
- D = Damping Ratio
= 5 % = 0,005 (untuk gedung beton bertulang)

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

6.1. UMUM

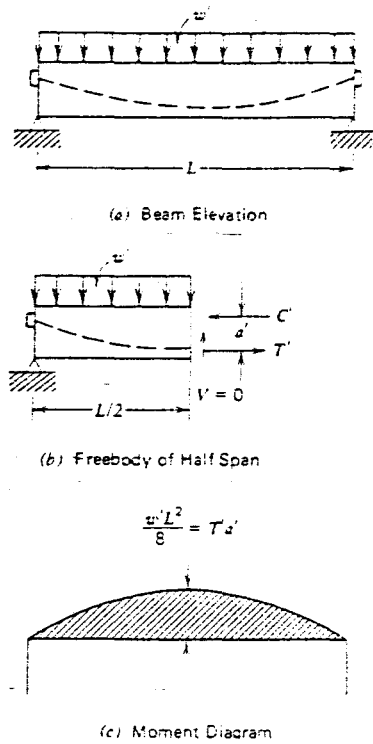
Suatu perbandingan yang sederhana antara kekuatan dari balok yang ditumpu secara sederhana dan balok menerus akan menunjukkan penghematan dasar didalam konstruksi beton pratekan menerus. Suatu balok sederhana yang dibebani merata w' . Beban w' yang dapat dipikul oleh balok tersebut ditentukan oleh kapasitas momen batas dari penampang pada tengah bentang. Jika T' adalah tarikan batas yang ditimbulkan dalam tendon yang bekerja dengan lengan momen a' , maka momen lawan batas pada tengah bentang adalah $T'a'$. Dengan setengah bentang dianggap sebagai benda bebas dan dengan mengambil momen terhadap tumpuan kiri, kita peroleh :

$$\frac{w' L^2}{8} = T'a' \quad (6.1)$$

$$w' = \frac{8T'a'}{L^2} \quad (6.2)$$

Diagram momen yang dihasilkan oleh w' diperlihatkan bahwa beban batas yang dipikul oleh balok tersebut ditentukan oleh kapasitas dari tengah bentang dan tidak dapat ditingkatkan dengan menambah eksentrisitas ujung c.g.s.

Sekarang kita tinjau balok menerus dengan penampang, panjang bentang, dan pratekan yang sama dengan balok sederhana sebelumnya. Kita



Gambar 6.1. Kapasitas memikul beban dari balok sederhana

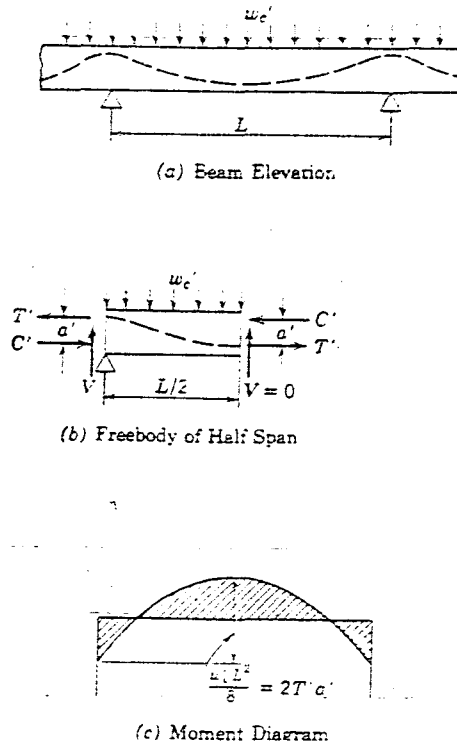
tinjau setengah bentang sebagai benda bebas, dan dengan mengambil momen terhadap tumpuan kiri, kita dapatkan :

$$\frac{w' L^2}{8} = 2T'a' \quad (6.3)$$

$$w' = \frac{16T'a'}{L^2} \quad (6.4)$$

dimana terlihat bahwa ada dua momen lawan, satu pada tengah bentang, dan satu lagi diatas tumpuan. Dengan demikian, kapasitas dalam memikul beban (load-carrying capacity) dipengaruhi oleh letak c.g.s. diatas tumpuan tengah. Bidang momen yang dihasilkan oleh beban w' .

Dengan membandingkan gambar 6.1 dan gambar 6.2 atau persamaan (6.2) dengan persamaan (6.4), terlihat bahwa $w_c' = 2w'$. Ini berarti bahwa dua kali beban pada balok sederhana dapat dipikul oleh bentang menerus dengan jumlah beton dan baja yang sama.



Gambar 6.2. Kapasitas memikul beban dari balok menerus

Ini menyatakan suatu penghematan yang besar dalam mendesain struktur beton pratekan.

Prosedur untuk mendesain balok pratekan menerus adalah sama seperti pada desain balok pratekan sederhana yang meliputi penentuan besarnya gaya pratekan awal, penentuan gaya jacking yang dibutuhkan, perhitungan kehilangan gaya pratekan, kontrol tegangan yang terjadi, perhitungan kekuatan ultimat beton pratekan serta geser balok pratekan.

Dalam mendesain suatu struktur, adalah diantaranya adalah memilih konsep yang sederhana dalam analisa dan desainnya. Konsep beban berimbang diyakini mampu menyajikan cara yang sederhana untuk struktur statis tak tentu, khususnya dalam desain pendahulunya.

Konsep beban berimbang ini memberi keuntungan-keuntungan dalam desain struktur statis tak tentu diantaranya adalah kemudahan dalam menghitung lendutan. Karena pembebanan yang memberikan lendutan nol disepanjang balok sudah diketahui, maka lendutan netto akibat kondisi pembebanan yang lain dapat dihitung cukup dengan cara meninjau selisih beban yang bekerja pada balok elastis. Jadi jika gaya prategang efektif dengan beton tetap, maka balok akan tetap mendatar sempurna tanpa mengindahkan modulus elastisitas atau rangkai lentur beton.

6.2. TINJAUAN PUSTAKA

6.2.1. Penentuan Gaya Pratekan Awal

Gambar menunjukkan bagaimana mengimbangi suatu beban terpusat dengan cara membengkokkan c.g.s. secara tajam pada tengah bentang, yang akan menimbulkan gaya yang mengarah ke atas sebesar :

$$V=2F\sin\theta$$

Jika V ini tepat mengimbangi beban terpusat P yang akan bekerja pada tengah bentang, maka balok tersebut tidak mengalami gaya lintang apapun. Pada ujung-ujung balok, komponen vertikal $F \sin \theta$ dari gaya prategang dipindahkan langsung ketumpuan, sementara komponen horisontal $F \cos \theta$ memberikan suatu gaya tekan merata sepanjang balok. Dengan demikian tegangan pada balok pada penampang sembarang diberikan oleh :

$$f = \frac{F \cos \theta}{A_c} = \frac{F}{A_c}$$

untuk nilai-nilai t yang kecil. Setiap tambahan beban terhadap P sekarang akan menimbulkan lenturan pada balok yang elastis homogen (sampai titik retak), dan tegangan tambahan diberikan oleh :

$$f = \frac{M.C}{I}$$

dimana M = momen yang ditimbulkan oleh beban tambahan terhadap P .

Dengan cara serupa, Gambar menyajikan pengimbangan beban terbagi rata dengan menggunakan kabel parabolik yang mempunyai komponen keatas w_b (berat/panjang) yang diberikan oleh :

$$w_b = \frac{8.F.h}{l^2}$$

Jika beban merata eksternal merata w (termasuk berat sendiri balok) secara tepat diimbangi oleh komponen w_b , maka tidak akan ada lenturan pada balok. Balok tersebut mengalami tekan merata sebesar :

$$f = \frac{F}{A_c}$$

Jika sekiranya beban merata tidak sama dengan w_b , maka kita hanya perlu menganalisa momen M akibat selisih beban dan menghitung tegangan-tegangan yang bersesuaian dengan rumus :

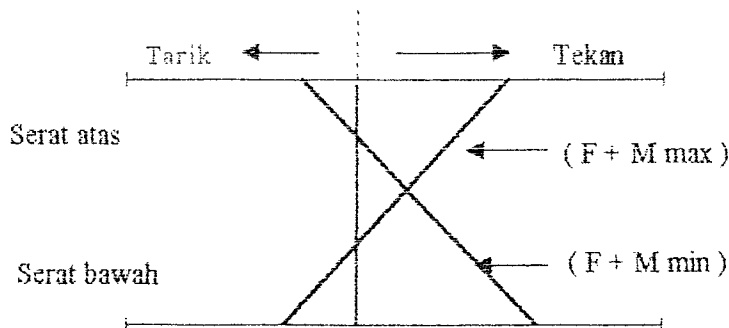
$$f = \frac{M.C}{I}$$

Dalam perencanaan balok pratekan, peninjauan pembebanan tidak cukup hanya melihat besar beban luar baik yang berupa beban mati maupun beban hidup yang bekerja saja, tetapi perlu diperhatikan juga kombinasi antara beban luar dan gaya pratekan yang diterima beton. Keadaan balok pratekan yang paling kritis pada umumnya terjadi pada dua kondisi pembebanan, yaitu pembebanan awal (initial loading) dan pembebanan akhir (final loading).

Kondisi pembebanan awal adalah kondisi pembebanan pada saat gaya pratekan ditransfer pada beton. Beban yang bekerja hanya berupa beban mati saja karena beban hidup belum bekerja. Kondisi ini akan memberikan momen minimum (M_{min}). Pada saat ini gaya pratekan adalah maksimum dan kekuatan beton adalah minimum karena kekuatan beton belum penuh.

Kondisi pembebanan akhir adalah kondisi di mana beban luar yaitu beban mati dan beban hidup sudah sepenuhnya bekerja dan kehilangan gaya pratekan sudah terjadi. Pada saat ini beban luar adalah maksimum yaitu yang memberikan M maksimum dan gaya pratekan adalah minimum.

Kedua kondisi pembebanan tersebut dapat dinyatakan seperti pada gambar 6.1 seperti di bawah ini :



Gambar 6.3. Diagram tegangan di bawah kondisi ekstrim

Untuk mendapatkan besarnya gaya pratekan yang diperlukan, dilakukan dahulu analisa struktur tanpa adanya gaya pratekan untuk mengetahui besarnya M_{min} dan M_{max} . Besar gaya pratekan dan eksentrisitas yang diberikan adalah sedemikian sehingga baik pada kondisi pembebanan awal

maupun kondisi pembebanan akhir, tegangan yang terjadi memenuhi ketentuan tegangan ijin. Karena masing-masing kondisi tersebut di atas mempunyai dua syarat batas yaitu tegangan pada serat atas dan tegangan pada serat bawah, maka besarnya gaya pratekan awal dan eksentrisitasnya harus memenuhi

6.2.2. Penentuan Letak Kabel (Cable Layout)

Penentuan besarnya gaya pratekan dan eksentrisitas yang diperlukan hanya berdasarkan pada beberapa potongan kritis, yaitu pada tumpuan kiri, tengah bentang dan tumpuan kanan. Sehingga untuk titik-titik lain sepanjang bentang perlu ditentukan daerah limit kabel berdasarkan gaya yang bekerja sedemikian sehingga tegangan ijin tidak dilampaui.

Dalam struktur pascatarik menerus, kurva parabolik ideal yang digunakan dalam prosedur desain perimbangan beban hanya merupakan cara pendekatan saja. Tata letak tendon yang sebenarnya yang terdiri atas beberapa segmen yang membentuk parabola terbalik yang mulus sering menimbulkan momen-momen akibat gaya prategang yang mendekati sederetan parabola yang terpotong-potong. Kita terlebih dahulu harus meninjau bagaimana suatu model tata letak kabel yang sebenarnya dalam perhitungan, tetapi karena dalam prakteknya dilapangan tidak mungkin menggunakan kabel yang dibengkokkan secara tajam, makapada bengkokan tersebut biasanya dibuat asumsi bahwa titik balik dari tendon adalah berkisar antara $\frac{1}{8}$ sampai $\frac{1}{12}$ dari panjang bentang. Dan pada umumnya dilapangan diambil titik balik tendon adalah $\frac{1}{10}$ panjang bentang.

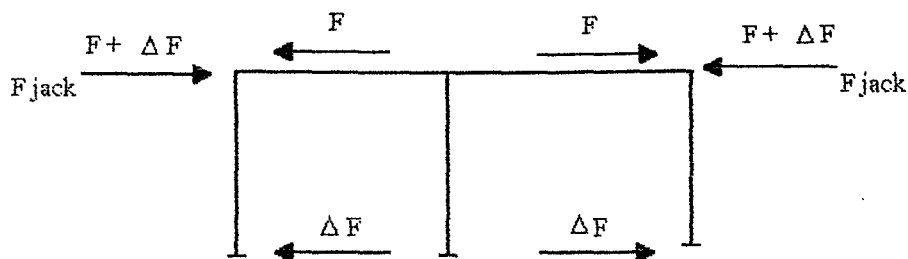
2.3. Perhitungan Gaya Jacking Yang Dibutuhkan

Permasalahan yang ada pada portal balok pratekan dengan hubungan monolit antara balok dan kolom adalah timbulnya gaya perlawanan kolom akibat memendeknya balok pratekan. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan gaya pratekan yang diberikan berkurang karena sebagian pratekan digunakan untuk mengatasi perlawanan kolom.

Memendeknya balok pratekan tersebut disebabkan oleh perpendekan elastis (elastic shortening) serta akibat creep dan susut. Dimana perpendekan elastis terjadi sesaat setelah balok pratekan dijacking, sedangkan creep serta susut terjadi sesuai dengan fungsi waktu. Kehilangan gaya pratekan langsung pada balok yang sedang dijack dapat diatasi dengan menambah gaya jackingnya. Sedangkan untuk kehilangan gaya pratekan tak langsung, balok yang telah dijack harus diperhitungkan sebagai pengurangan gaya pratekan.

Untuk menghitung gaya jacking yang dibutuhkan dicari dulu berkurangnya gaya pratekan pada balok. Agar gaya aksial yang terjadi pada balok pratekan tetap atau hampir sama seperti yang diinginkan (F asli) maka gaya pratekan perlu ditambah sebesar ΔF . Jadi gaya jacking yang dibutuhkan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} F_{\text{jack}} &= F + \Delta F \\ &= F + (F - N_i) \end{aligned}$$



Gambar 6.4. Gaya jacking yang diberikan pada balok

2.4. Perhitungan Kehilangan Gaya Patekan

Sebelum mengontrol tegangan yang terjadi pada beton pratekan, perlu hitung dulu kehilangan gaya pratekannya. Secara umum kehilangan gaya pratekan adalah perbedaan gaya pada waktu tertentu terhadap gaya yang diberikan pada saat jacking.

Berkurangnya gaya pratekan ini dapat mengakibatkan berkurangnya tegangan beton dan juga tegangan bajanya sehingga secara tidak langsung kemampuan dari balok tersebut juga akan menurun.

Maka sangat sulit memperkirakan besarnya kehilangan pratekan secara tepat karena banyaknya faktor yang berpengaruh seperti misalnya :

- ♦ Sifat dua karakter beton dan baja.
- ♦ Curing dan kondisi kelembaban.
- ♦ Prosentase tegangan pada waktu penegangannya.
- ♦ Proses prestressing.

Secara fungsi waktu kehilangan pratekan dapat dibagi dua yaitu :

A. Kehilangan pratekan langsung

- a. Akibat perpendekan elastis (elastic shortening).
- b. Akibat gesekan (friction) dan wobble efek.
- c. Akibat slip pada angker (anchorage set).

B. Kehilangan pratekan tak langsung

- a. Akibat creep.
- b. Akibat susut (shrinkage).
- c. Akibat relaksasi baja (steel relaxation).

A. Kehilangan Pratekan Langsung

1. Kehilangan akibat perpendekan elastis (ES)

Akibat perpendekan elastis terutama berpengaruh pada sistem pretension dan juga sistem posttension dengan tendon majemuk yang dijack tidak bersamaan. Sedangkan untuk sistem posttension dengan tendon tunggal, beton memendek setelah tendon diprategang dan kemudian gaya jacking diukur setelah perpendekan elastis beton terjadi. Dengan demikian besar kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis tidak perlu dihitung. Tetapi perhitungan besar perpendekan yang terjadi tetap dilakukan karena diperlukan untuk mencari gaya perlawanan kolom akibat perpendekan balok yang akhirnya dapat mengurangi gaya pratekan.

Besarnya perpendekan elastis dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

1) Untuk case yang konsentris

☐ Untuk cgs yang konsentris

$$ES = n \times F_o / A_c$$

☐ Untuk cgs yang eksentris

$$ES = n f_{cfr}$$

di mana :

n = perbandingan antara modulus elastisitas baja dengan modulus elastisitas beton pada saat transfer.

$$= E_s / E_{ci}$$

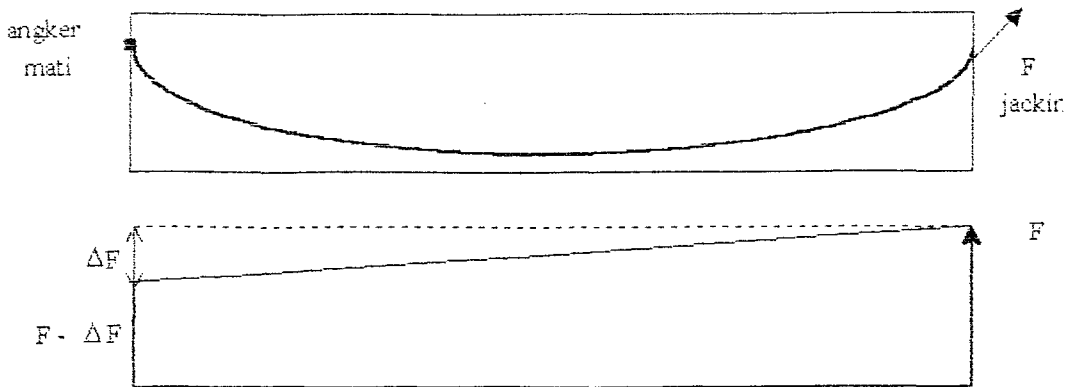
F_{cfr} = tegangan dalam beton pada cgs selama beban F_o

$$= \frac{F_o}{A_c} + \frac{F \cdot e^2}{I} - \frac{M_G \cdot e}{I}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

2. Kehilangan Akibat Gesekan Dan Wobble Efek

Waktu mengadakan penarikan kabel, maka akibat tegangan kabel akan terjadi suatu gerakan relatif dari tendon terhadap beton. Akibat gerakan ini terjadilah suatu gesekan yang akan menimbulkan reaksi yang arahnya berlawanan dengan gerak tulangan. Gesekan ini terjadi karena kabel berbentuk lengkung. Kenyataan dilapangan disamping bentuk lengkung seperti yang direncanakan juga dimungkinkan terjadi penyimpangan lengkungan terhadap lengkungan yang telah ditetapkan. Hal ini dapat terjadi disebabkan titik tumpu dari balok.



Gambar 6.5. Kehilangan gaya pratekan akibat gesekan dan wobble effect

Pengaruh wobble efek :

$$F_2 = F_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + K \cdot L)}$$

di mana :

F_1 = gaya pratekan pada jack

F_2 = gaya pratekan pada angker mati

L = panjang horisontal

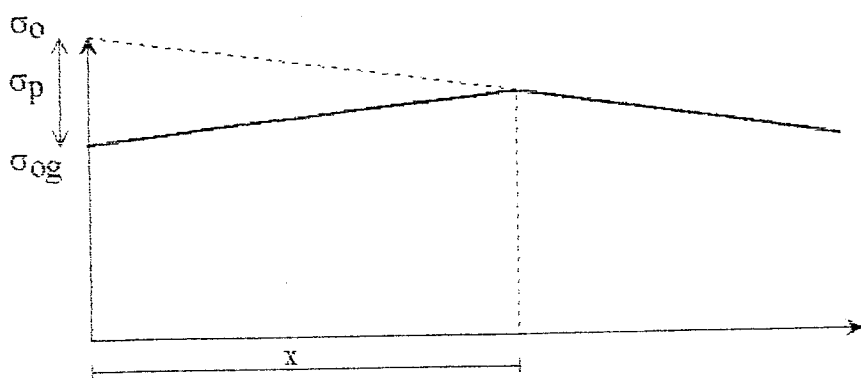
α = perubahan sudut cgs (radian)

K = koefisien wobble efek (Tabel 4 - 7 , T.Y LIN)

3. Kehilangan Akibat Slip Angker

Kehilangan gaya ini terjadi apabila gaya pratekan dikerjakan kepada angkernya. Jadi bekerjanya mulai dari beban jacking dilepaskan dan diberikan kepada balok. Penyebab utamanya bervariasi tergantung daripada model masing-masing angker yang dipergunakan.

Tetapi kehilangan ini pada dasarnya berpengaruh pada daerah ujungnya (angker hidup) saja, karena proses kehilangan gaya ini akan dihalangi oleh adanya gesekan. Jadi berkenaan dengan ini maka masalahnya adalah seberapa jauh dia berpengaruh. Daerah inilah yang perlu ditinjau.



Gambar 6.6. Penurunan tegangan akibat slip angker

di mana :

σ_0 = tegangan sebelum slip

σ_{0g} = tegangan setelah slip

g = intensitas dari slip angker

$$\sigma_p = g \cdot E_p$$

$$x = \sqrt{\frac{E_p \cdot g}{\sigma_0 \cdot \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{L} + K \right)}}$$

Metode inilah yang biasa dipergunakan untuk over tension.

B. Kehilangan Pratekan Karena Pengaruh Waktu

Dalam memperhitungkan kehilangan pratekan karena pengaruh waktu yaitu creep (CR), shrinkage (SH) dan steel relaxation (RET) dipakai metode

CI Comitee. Dalam metode ini perhitungan dibagi dalam empat interval waktu seperti yang tercantum dalam tabel 6.1 berikut :

Tabel 6.1 Intensitas waktu sistem postension

Step	Waktu awal (t_1)	Waktu akhir (t_2)
1	Akhir curing	Umur pemberian pratekan
2	Akhir step 1	Umur = 30 hari, saat beton menerima beban mati tambahan.
3	Akhir step 2	Umur = 1 tahun
4	Akhir step 3	Akhir umur rencana beton

.Kehilangan akibat Creep.

Kehilangan gaya pratekan tiap-tiap interval waktu dihitung dengan rumus :

$$CR = (UCR) (SCF) (MCF) (PCR) (f_c)$$

di mana :

♦ f_c = tegangan tekan beton pada cgs pada waktu t_1

♦ UCR (Ultimate Creep Loss)

Untuk beton normal :

a. Curing beton tidak lebih dari 7 hari.

$$UCR = 95 - 20 E_c / 10^6 \geq 11$$

b. Curing yang dipercepat.

$$UCR = 63 - 20 E_c / 10^6 \geq 11$$

♦ SCF = faktor pengaruh dari ukuran dan bentuk balok

pratekan, harga SCF dapat dilihat pada Tabel

6.2.

- ♦ MCF = faktor pengaruh dari umur beton dan lamanya waktu curing, harganya dapat dilihat pada Tabel

6.3.

- ♦ AUC = variasi dari creep terhadap waktu, harganya dapat dilihat pada Tabel 6.4.
- ♦ PCR = besarnya creep tiap-tiap interval waktu.

$$= (AUC) t - (AUC) t_1$$

Tabel 6.2. Faktor creep untuk beberapa nilai V/S

V/S , inch	Creep Faktor , SCF
1	1,05
2	0,96
3	0,87
4	0,77
5	0,68
>5	0,68

Tabel 6.3. Faktor creep MCF.

Umur saat transfer, hari	Periode curing hari	Faktor creep MCF
3	3	1,14
5	5	1,07
7	7	1,00
10	7	0,96
20	7	0,84
30	7	0,72
40	7	0

Tabel 6.4. Variasi creep menurut waktu setelah transfer.

Waktu setelah transfer hari	AUC
1	0,08
2	0,15
5	0,18
7	0,23
10	0,24
20	0,30
30	0,35
60	0,45
90	0,51
180	0,61
365	0,74
Akhir service load	1,00

2. Kehilangan Akibat Shrinkage (SH).

$$SH = (USH) (SSF) (PSH)$$

di mana :

- ♦ Kriteria dari pada nilai USH :

$$\text{Beton normal USH} = 27000 - 3000 E_c / 10^6$$

$$\text{Beton ringan USH} = 41000 - 1000 E_c / 10^6$$

$$\text{tetapi harga USH} > 12000 \text{ psi}$$

- ♦ SSF = faktor pengaruh ukuran dan bentuk dari balok
yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 6.5
- ♦ AUS = variasi susut terhadap waktu yang harganya
dapat dilihat pada Tabel 6.6

- ♦ PSH = banyaknya shrinkage untuk tiap-tiap interval waktu.

$$= (\text{AUS})_t - (\text{AUS})_{t_1}$$

Tabel 6.5. Faktor shrinkage.

V/S, in	Shrinkage faktor SSF
1	1,04
2	0,96
3	0,86
4	0,77
5	0,69
6	0,60

Tabel 6.6. Koefisien shrinkage untuk beberapa variasi curing.

Waktu setelah curing (hari)	AUS
1	0,08
2	0,15
5	0,18
7	0,20
10	0,22
20	0,27
30	0,36
60	0,42
90	0,55
180	0,68
365	0,86
Akhir service load	1,00

- ♦ PSH = banyaknya shrinkage untuk tiap-tiap interval waktu.

$$= (AUS)_t - (AUS)_{t_1}$$

Tabel 6.5. Faktor shrinkage.

V/S, in	Shrinkage faktor SSF
1	1,04
2	0,96
3	0,86
4	0,77
5	0,69
6	0,60

Tabel 6.6. Koefisien shrinkage untuk beberapa variasi curing.

Waktu setelah curing (hari)	AUS
1	0,08
2	0,15
5	0,18
7	0,20
10	0,22
20	0,27
30	0,36
60	0,42
90	0,55
180	0,68
365	0,86
Akhir service load	1,00

3. Kehilangan akibat relaksasi (RET).

Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja untuk interval waktu t s/d t_1 dapat dihitung dengan rumus :

Untuk baja relaksasi tinggi (stress-relieved steel) :

$$RET = f_{st} \left[\frac{(\log 24t - \log 24t_1)}{10} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

di mana :

$$(f_{st}/f_{py}) - 0,55 \geq 0,05$$

$$f_{py} = 0,85 f_{pu}$$

Untuk baja relaksasi rendah (low-relaxation steel) :

$$RET = f_{st} \left[\frac{(\log 24t - \log 24t_1)}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

di mana :

$$(f_{st}/f_{py}) - 0,55 \geq 0,05$$

$$f_{py} = 0,90 f_{pu}$$

6.2.5. Kontrol Tegangan Yang Terjadi

Kontrol tegangan disini dimaksudkan untuk mengetahui apakah tegangan yang terjadi pada balok pratekan memenuhi syarat yang diijinkan.

Kontrol tersebut dilakukan pada keadaan beban kerja (service load), sesuai dengan perilaku/ pelaksanaan yang terjadi di lapangan.

Setelah momen-momen akibat gaya prategang pada tiap titik tumpuan akibat beban-beban yang dikenakan pada beton dihitung dengan menggunakan persamaan $w = \frac{8Fh}{L_o^2}$ dimana besar L_o untuk masing-masing segmen dari tata letak tendon sebenarnya adalah dua kali panjang segmen setengah parabola

yang membentuk tata letak tendon yang sebenarnya, kita dapat menggunakan metode distribusi momen untuk mencari momen-momen yang terjadi di setiap tumpuan akibat gaya prategang saja.

Jarak dari titik berat penampang (c.g.c.) ke garis C ditentukan pada setiap titik tumpuan untuk mendapatkan apakah gaya prategang tersebut menimbulkan momen sekunder dengan rumus :

$$\text{Jarak terhadap garis C pada tumpuan} = \frac{\text{Momen akibat gaya prategang}}{F}$$

Dengan mengkombinasikan tata letak c.g.s. dengan letak garis C yang telah diketahui kita tentukan jarak garis C sepanjang struktur tersebut. Dengan mengkombinasikan momen akibat gaya prategang dengan momen akibat beban dapat ditentukan momen netto pada titik kontrol sepanjang bentang yang bersangkutan. Tegangan akibat momen netto ini dikombinasikan dengan tegangan F/A untuk memeriksa tegangan pada serat terluar beton.

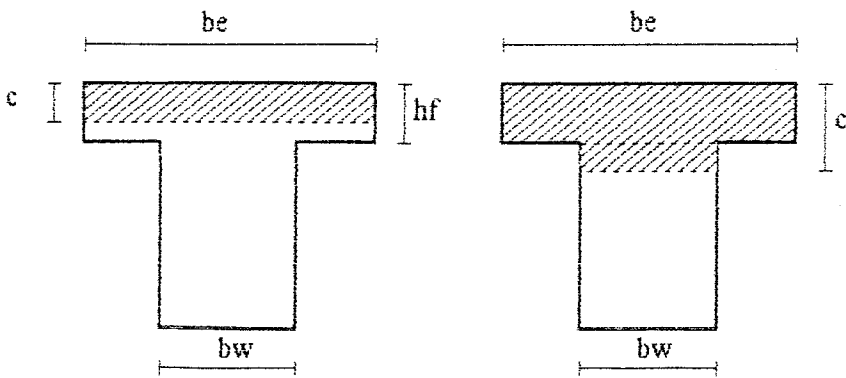
2.6. Kekuatan Ultimate Balok Pratekan

Perhitungan kekuatan ultimat pada umumnya adalah untuk menentukan kekuatan nominal dari suatu penampang, yaitu bahwa suatu penampang harus memenuhi persyaratan. Untuk batasan minimum, pada SKSNI pasal 3.11.8.3, diatur bahwa jumlah total dari baja tulangan tanpa pratekan dan baja tulangan pratekan harus cukup untuk menghasilkan beban berfaktor :

$$1,25 M_{cr} \leq M_u \leq \phi M_n$$

di mana ϕ adalah faktor reduksi.

b. Perencanaan kekuatan nominal untuk penampang T.



Gambar 6.8. Penampang T palsu dan T asli

Jika : $c \leq hf$ suatu penampang dianggap sebagai penampang persegi dengan $b = be$

$c > hf$ penampang tersebut dianggap sebagai penampang T murni.

Dari gambar di atas didapat :

$$Aps f_{ps} + A_s f_y = 0,85 f_c' (be - bw) hf + 0,85 f_c' bw a$$

Total gaya tarik pada kondisi ultimate dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu T_{nf} dan T_{nw} ,

di mana :

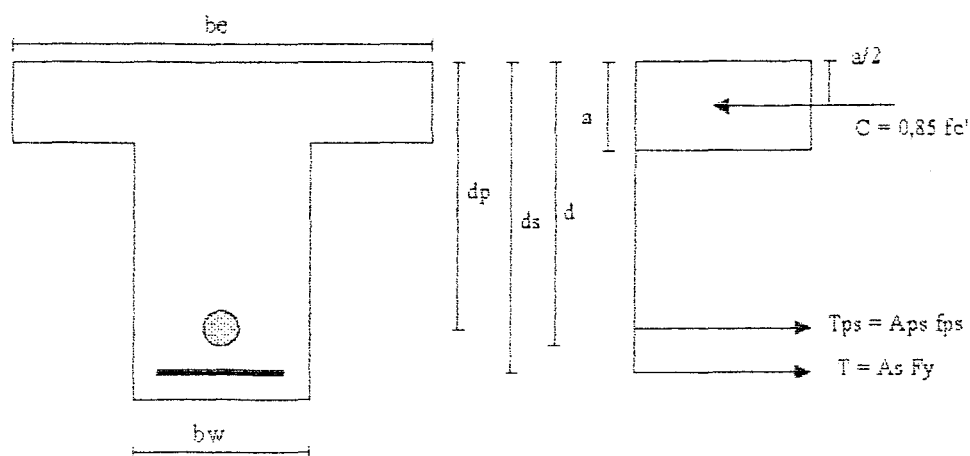
$$T_{nf} = 0,85 f_c' (be - bw) hf$$

$$T_{nw} = 0,85 f_c' bw a$$

Dari persamaan kesetimbangan di atas nilai a dapat diperoleh :

$$a = \frac{Aps f_{ps} + A_s f_y - 0,85 f_c' (be - bw) hf}{0,85 f_c' bw}$$

a. Perencanaan kekuatan nominal untuk penampang persegi.



Gambar 6.7. Kesetimbangan gaya pada penampang

Dari diagram di atas dengan memperhatikan syarat kesetimbangan :

$$C = T_{ps} + T$$

$$= 0,85 f_c' b .a (d - a/2)$$

dimana :

$$d = \frac{A_{ps} f_{ps} d_p + A_s f_y d_s}{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y}$$

Untuk $f_{se} > 0,5 f_{pu}$ dan komponen struktur dengan menggunakan tendon pratekan lekatan penuh, harga f_{ps} menurut SKSNI pasal 3.11.7.2.2. :

$$f_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \right]$$

Kuat nominal dapat juga dinyatakan dalam bentuk yang lain :

$$M_n = A_{ps} f_{ps} (d_p - a/2) + A_s f_y (d_s - a/2)$$

Kemudian kekuatan momen nominal adalah :

$$M_n = T_{nf} \cdot (d - h_f/2) + T_{nw} \cdot (d - a/2)$$

$$\omega_p = \frac{A_{ps} f_{pe}}{b_w \cdot d \cdot f_c'} = \rho_p \times \frac{f_{ps}}{f_c'}$$

$$\omega = \frac{A_s f_y}{b_w \cdot d \cdot f_c'} = \rho \times \frac{f_y}{f_c'}$$

$$\omega' = \frac{A_s' f_y'}{b_w \cdot d \cdot f_c'} = \rho' \times \frac{f_y'}{f_c'}$$

Dan kekuatan momen retak adalah :

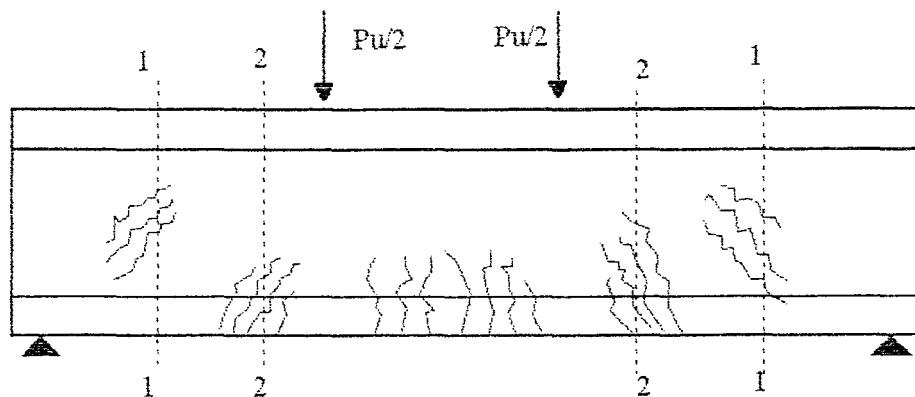
$$M_{cr} = F_e \left[e_o + \left(\frac{r^2}{y_b} \right) \right] + f_r \left(\frac{I}{y_t} \right)$$

6.2.7. Geser Pada Balok Pratekan

Tulangan geser diperlukan untuk mengatasi retak pada balok pratekan.

Retak pada balok pratekan ada 2 jenis yaitu :

1. Retak badan (Web Crack).
2. Retak lentur geser miring (Inclined Flexure Shear Cracking).



Gambar 6.9. Jenis retak pada balok pratekan

ad 1. Retak badan (Vcw).

Retak ini disebabkan oleh tegangan tarik yang terjadi (f_t) lebih besar daripada kekuatan tarik beton. Yang paling berpengaruh pada retak ini adalah

bal tipisnya badan, dan besar kecilnya gaya geser. Dengan demikian retak dan ini kebanyakan terjadi pada dekat perletakan yang gaya gesernya besar. Besarnya kekuatan retak badan ini dapat dirumuskan pada SKSNI pasal 3.4.4.2.1 berikut ini :

$$V_{cw} = [0,29 \sqrt{f_c'} + 0,3 f_{pc}] \cdot b_w \cdot d + V_p$$

$$f_{pc} = \frac{F_{se}}{A_c}$$

$$V_p = \frac{1}{2} V_{p'} L$$

$$V_{p'} = \frac{(8 F_e \cdot f)}{L}$$

2. Retak geser miring (Vci)

Retak ini diawali oleh retak lentur, kemudian baru retak miring oleh ft. terjadi pada keadaan under reinforcement dan perbandingan antara momen dan gaya geser relatif besar. Jadi pada umumnya terjadinya di tengah-tengah. Perumusan retak lentur ini didasarkan dari banyak percobaan-percobaan yang telah dilakukan.

Besarnya kekuatan retak geser miring, Vci dapat dihitung dari persamaan :

$$V_{ci} = \left[\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} \right) b_w \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}} \right] \geq 0,14 \sqrt{f_c'} b_w \cdot d$$

di mana :

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t} \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} - f_d \right)$$

V_d = gaya geser akibat berat sendiri (wg)

$$f_d = \frac{Mg}{Z_b}$$

$$f_{pe} = F_e \frac{(e + k_t)}{Z_b}$$

V_i dan M_{max} = masing-masing gaya geser dan momen akibat beban hidup pada potongan

Penulangan sengkang.

Tulangan sengkang diperlukan bila :

$$V_n > V_c$$

maka :

$$V_s = V_n - V_c = V_n/j - V_c$$

$$V_s = \frac{(A_s f_y d)}{s} \quad \text{atau} \quad s = \frac{(A_s f_y d)}{V_s}$$

Syarat :

♦ Tulangan Geser min : $A_v = \frac{b_w s}{3 f_y}$

♦ Jarak spasi max : $s \leq 3/4 h$

$$\leq 60 \text{ cm}$$

6.3. PERHITUNGAN BALOK PRATEKAN

6.3.1. Data-data perencanaan :

Beban mati akibat berat sendiri = 1,3545 t/m

Lebar balok : $b = 300$ mm

Tinggi balok : $h = 500$ mm

decking = 40 mm

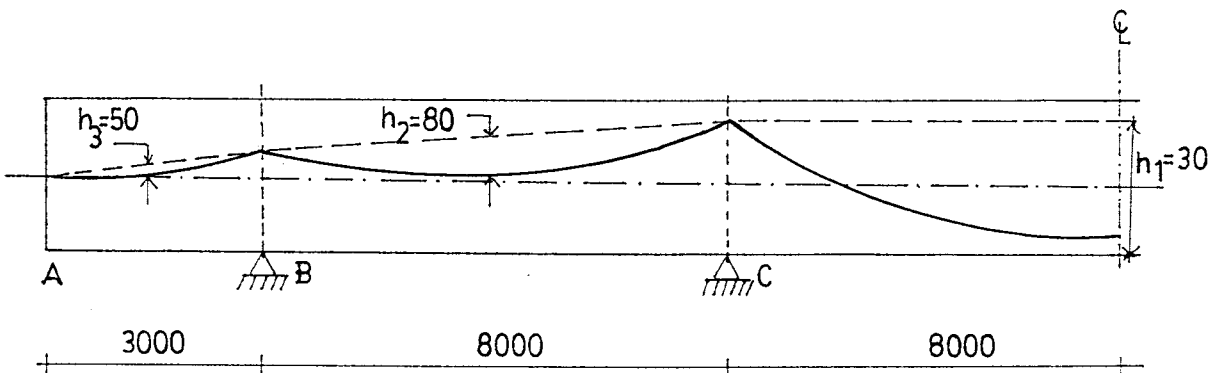
jarak kabel dari tepi bawah atau tepi atas : $40+10+25+50/2 = 100$ mm

$f_c' = 40$ Mpa

$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{40} = 2,9725 \cdot 10^6$ t/m²

6.3.2. Layout Tendon dan Perhitungan Gaya Jacking yang Dibutuhkan

Tendon diasumsikan parabolik ideal dengan jarak cover minimum 100 mm dari tepi terbawah dan tepi teratas balok pada tengah bentang terpanjang (16 m). Tendon dianggap menerima beban mati terbagi rata akibat berat sendiri 1,3545 t/m sepanjang balok. Kemudian dari beban ini diimbangi dengan gaya pratekan F .



Gambar 6.10. Layout tendon ideal

Untuk bentang 16 meter :

$$h_1 = 0,30 \text{ m} \quad F = \frac{w L^2}{8 h_1} = \frac{1,3545 \cdot (16)^2}{8 \cdot (0,30)} = 144,48 \text{ ton}$$

Dengan diperolehnya gaya jacking $F = 144,48$ ton tersebut dan dengan beban yang sama, maka pada bentang 8 meter diperoleh h_2 :

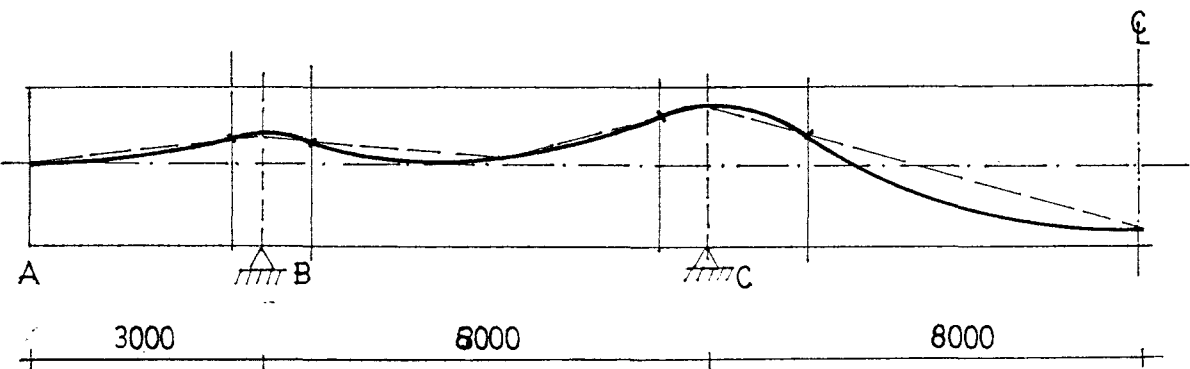
$$h_2 = \frac{wL^2}{8F} = \frac{1,3545 \cdot (8^2)}{8 \cdot (144,48)} = 0,075 \text{ m diambil } h_2 = 0,080 \text{ m}$$

dan pada bentang 3 meter :

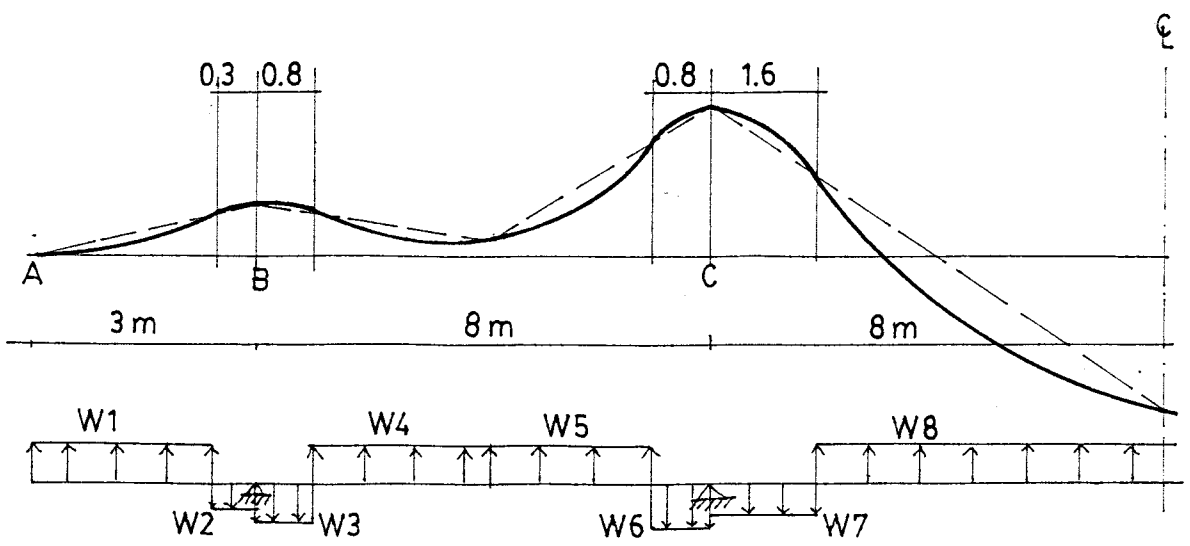
$$h_3 = \frac{wL^2}{2F} = \frac{1,3545 \cdot (3^2)}{2 \cdot (144,48)} = 0,042 \text{ m, diambil } h_3 = 0,050 \text{ m}$$

Dari bentuk tendon ideal yang diperoleh dari load balancing tadi, dalam prakteknya dilapangan tidak mungkin tendon berbentuk patah pada tiap tumpuannya. Untuk tata letak tendon yang sebenarnya diambil asumsi titik belok tendon adalah $0,1 L$ dikiri dan kanan titik tumpuan tersebut sehingga dapat membentuk kurva menerus yang mulus yang dapat dilihat bentuk tendon yang sebenarnya pada gambar.

Dari masing-masing segmen parabola tersebut yang berbentuk setengah parabola, dan dengan menggunakan persamaan $w = \frac{8 \cdot F \cdot h}{L_0^2}$, dimana besar L_0 untuk masing-masing segmen adalah dua kali panjang segmen setengah parabola yang membentuk kurva tendon yang sebenarnya. Dengan menggunakan analisa struktur statis takentu, dapat ditentukan besar momen yang terjadi pada tiap tumpuan akibat gaya prategang.



Gambar 6.11. Layout tendon yang sebenarnya



Gambar 6.12. Pembebanan akibat gaya pratekan

Besar beban-beban yang terjadi akibat tekanan tendon :

$$w = \frac{2Fh}{L_0^2} \rightarrow w_1 = \frac{2 \cdot (144,48) \cdot (0,045)}{(2 \cdot 2,7)^2} = 0,446 \text{ t/m}$$

$$w_2 = \frac{2 \cdot (144,48) \cdot (0,005)}{(2 \cdot 0,3)^2} = 4,013 \text{ t/m}$$

$$w = \frac{8Fh}{L_0^2} \rightarrow w_3 = \frac{8 \cdot (144,48) \cdot (0,006)}{(2 \cdot 0,8)^2} = 2,709 \text{ t/m}$$

$$w_4 = \frac{8 \cdot (144,48) \cdot (0,024)}{(2 \cdot 3,2)^2} = 0,667 \text{ t/m}$$

$$w_5 = \frac{8 \cdot (144,48) \cdot (0,104)}{(2 \cdot 3,2)^2} = 2,935 \text{ t/m}$$

$$w_6 = \frac{8 \cdot (144,48) \cdot (0,028)}{(2 \cdot 0,8)^2} = 11,739 \text{ t/m}$$

$$w_7 = \frac{8 \cdot (144,48) \cdot (0,08)}{(2 \cdot 1,6)^2} = 6,773 \text{ t/m}$$

$$w_8 = \frac{8 \cdot (144,48) \cdot (0,24)}{(2 \cdot 6,4)^2} = 1,6931 \text{ t/m}$$

Dari hasil analisa distribusi momen dengan beban-beban diatas dapat diketahui momen-momen yang terjadi pada tiap tumpuan. Dititik tumpuan B $M_B = 35,16 \text{ tm}$ dan di titik tumpuan D $M_D = 34,05 \text{ tm}$.

Kemudian ditentukan jarak c.g.c ke garis C (pusat tekan dari tendon) pada titik tumpuan tersebut. Dan untuk tengah bentang dilakukan superposisi letak Garis C dari dua titik tumpu yang ada.

Pada titik B dikontrol apakah terjadi momen sekunder akibat gaya pratekan yang diberikan pada balok tersebut.

Jarak terhadap garis C pada B = $\frac{M}{F} = \frac{35,18}{144,48} = 0,24 \text{ m}$, sedangkan jarak terhadap c.g.c pada B adalah yang besarnya = $0,045 \text{ m} < 0,24 \text{ m}$, maka pada titik B terjadi momen sekunder akibat gaya pratekan yang besarnya :

$$M_{\text{sec B}} = 144,48 \times (0,24 - 0,045) = 28,17 \text{ tm}$$

Dan dengan cara yang sama untuk titik D diperoleh :

$$M_{\text{sec D}} = 144,48 \times (0,24 - 0,15) = 13,00 \text{ tm}$$

Sebelum dilakukan kontrol terhadap tegangan yang terjadi disepanjang balok, maka dilakukan perhitungan kehilangan gaya pratekan terlebih dahulu.

6.3.3. Perhitungan Kehilangan Gaya Pratekan

A. Kehilangan Pratekan Tak Langsung

1. Kehilangan pratekan akibat relaksasi baja, susut, dan rangkai :

$$bw = 30 \text{ cm} \quad h = 50 \text{ cm}$$

$$t = 15 \text{ cm} \quad be = 270 \text{ cm}$$

$$Ac = 1500 \text{ cm}^2$$

$$Aps = 9,87 \text{ cm}^2 \text{ (VSL Tipe Unit 12 ; 7 strand)}$$

$$Fpu = 187,5 \text{ ton}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{150000 L}{(1000 + 2.500 + 300) \cdot L} = 65,22 \text{ mm} = 2,57 \text{ in} \rightarrow SCF = 0,91 \text{ dan } SSF = 0,90$$

$$Ec = 4.3110 \text{ MPa} = 4,311 \cdot 10^6 \text{ psi}$$

$$UCR = 95 - 20 \cdot Ec / 10^6$$

$$= 95 - 20 \times 4.311 \cdot 10^6 / 10^6 = 8,78 \leq 11 \rightarrow \text{digunakan } 11$$

$$USH = 27000 - 3000 \cdot Ec / 10^6$$

$$= 27000 - 3000 \times 4.311 \cdot 10^6 / 10^6 = 14,07 \text{ ksi} > 12 \text{ ksi}$$

► Tahap I

Dimulai dari akhir curing atau awal pratekanan sampai dengan dua hari setelah pratekanan.

◆ Relaksasi

$$t_1 = 1 / 24 \text{ hari} \quad t_2 = 2 \text{ hari}$$

Digunakan tendon prategang VSL Tipe Unit 12; 7 strand, $fpu = 1899,7 \text{ MPa}$

$$F_{\text{jacking}} = F_o = 144,48 \text{ ton}$$

$$\frac{fst}{fpy} = \frac{0.75 \times 2.754 \times 10^2}{0.85 \times 2.754 \times 10^2} = 0,882$$

$$\begin{aligned}
 RET_1 &= f_{st} \times \left[\frac{\log(24 \cdot t_2) - \log(24 \cdot t_1)}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\
 &= 2,065 \cdot 10^2 \times \left[\frac{\log 48 - \log 1}{45} \right] \times (0,882 - 0,55) \\
 &= 11,53 \text{ ksi}
 \end{aligned}$$

Kehilangan prategangan akibat shrinkage dan susut relatif kecil untuk waktu yang pendek.

$$SH_1 = CR_1 = 0$$

$$\begin{aligned}
 f_{st_1} &= f_{st} - (RET_1 + SH_1 + CR_1) \\
 &= 2,065 \cdot 10^2 - (11,53 + 0 + 0) \\
 &= 1,9497 \cdot 10^2 \text{ ksi}
 \end{aligned}$$

➤ Tahap II

Mulai akhir tahap 2 s/d 30 hari.

◆ Relaksasi

$$t_1 = 2 \quad t_2 = 30$$

$$f_{st_1} = 1,9497 \cdot 10^2 \text{ ksi}$$

$$\frac{f_{st_1}}{f_{py}} = \frac{1,9497 \cdot 10^2}{2,341 \cdot 10^2} = 0,833$$

$$\begin{aligned}
 RET_2 &= 1,9497 \cdot 10^2 \times \left[\frac{\log 720 - \log 48}{45} \right] \times (0,833 - 0,55) \\
 &= 6.489 \text{ ksi}
 \end{aligned}$$

◆ Creep

$$PCR = AUC(30) - AUC(2) = 0,35 - 0,15 = 0,20$$

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{F}{A_c} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{Mg \cdot y}{I} \\
 &= -\frac{144,48}{0,15} + \frac{144,48 \cdot 0,060 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}} - \frac{7,96 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}} \\
 &= 906,5 \text{ t/m}^2 = 1,298 \text{ ksi}
 \end{aligned}$$

$$CR_2 = (UCR)(SCF)(MCF)(PCR) \cdot f_c$$

$$= 10,01 \times 0,72 \times 0,20 \times 1,298$$

$$= 2,60 \text{ ksi}$$

◆ Shrinkage

$PSH = AUS(30) - AUS(2) = 0,42 - 0,115 = 0,30$

$SH_2 = (USH)(SSF)(PSH)$

$= 12,66 \times 0,30$

$= 3,798 \text{ ksi}$

$fst_2 = fst_1 - (RET_2 + CR_2 + SH_2)$

$= 194,97 - (6,489 + 2,60 + 3,798)$

$= 182,205 \text{ ksi}$

➤ Tahap III

Mulai 30 hari sampai dengan 365 hari

◆ Relaksasi

$t_1 = 30 \text{ hari} \quad t_2 = 365 \text{ hari}$

$fst_2 = 182,205 \text{ ksi}$

$\frac{fst_2}{fpy} = \frac{182,205}{234,1} = 0,778$

$RET_3 = 182,205 \times \left[\frac{\log 8760 - \log 720}{45} \right] \times (0,778 - 0,55) = 4,48 \text{ ksi}$

◆ Creep

$PCR = AUC(365) - AUC(28) = 0,74 - 0,34 = 0,40$

$$fc = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e \cdot y}{I} - \frac{M \cdot y}{I}$$

$= -\frac{144,48}{0,15} - \frac{144,48 \cdot 0,060 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}} + \frac{16,81 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}}$

$= -311,9 \text{ t/m}^2 = 0,45 \text{ ksi}$

$CR_3 = (UCR)(SCF)(MCF)(PCR).fc$

$= 10,01 \times 0,72 \times 0,40 \times 0,45$

$= 1,757 \text{ ksi}$

◆ Shrinkage

PSH = AUS(365) - AUS(30) = 0,86 - 0,42 = 0,44

SH₃ = (USH).(SSF).(PSH)
= 12,66 x 0,44
= 5,57 ksi

fst₃ = fst₂ - (RET₃ + CR₃ + SH₃)
= 184,1 - (4,48 + 1,757 + 5,570)
= 170,395 ksi

➤ Tahap IV

Mulai 1 tahun sampai dengan 20 th

◆ Relaksasi

$\frac{fst_3}{fpy} = \frac{170,395}{234.1} = 0,728$

$RET_4 = 170,395x \left[\frac{\log 1752008 - \log 8760}{10} \right] x (0,728 - 0,55) = 3,95 \text{ ksi}$

◆ Creep

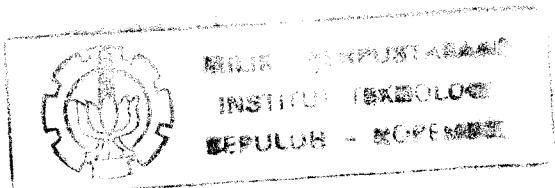
PCR = AUC(20th) - AUC(1th) = 1 - 0,74 = 0,26

$fc = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e \cdot y}{I} - \frac{M \cdot y}{I}$
 $= \frac{144,48}{0,15} + \frac{144,48 \cdot 0,060 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}} - \frac{16,81 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}}$
= 0,45 ksi

CR₄ = (UCR).(SCF).(PCR).fc
= 10,01 x 0,26 x 0,45
= 1,17 ksi

◆ Shrinkage

PSH = AUS(20th) - AUS(1th) = 1 - 0,86 = 0,14



$$SH_4 = (USH).(SSF).(PSH)$$

$$= 12,66 \times 0,14$$

$$= 1,772 \text{ ksi}$$

$$fst_4 = fst_3 - (RET_4 + CR_4 + SH_4)$$

$$= 170,395 - (3,95 + 1,17 + 1,772)$$

$$= 163,505 \text{ ksi (tegangan tendon setelah 20 tahun)}$$

$$= 1127,37 \text{ N/mm}^2$$

$$Fst = 1127,37 \times 987 = 11,127.10^5 \text{ N} = 111,27 \text{ ton}$$

$$\Delta F = 144,48 - 111,27 = 33,21 \text{ ton}$$

Prosentase kehilangan akibat relaksasi baja, susut, dan rangkai

$$= \frac{33,21}{144,48} \times 100 \% = 22,99 \%$$

B. Kehilangan Gaya Prategang Langsung :

$$F_o = 108,36 \text{ ton} \quad L = 38 \text{ meter}$$

$$A_{ps} = 691 \text{ mm}^2$$

Karakteristik untuk 7 wire strands yang direncanakan :

$$K = 0,002/\text{m}' \quad \text{slip} = 0,1 \text{ cm}$$

$$E_{st} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

1. Kehilangan gaya prategang akibat slip anker :

$$\begin{aligned} F &= \frac{E \cdot A \cdot \Delta L}{L} \\ &= \frac{1,9 \cdot 10^6 \cdot 6,91 \cdot 0,1}{3800} \\ &= 345,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Akibat gesekan dan Efek Wobble pada anker :

Gaya prategang pada anker mati adalah 144480 Kg , maka pada anker hidup :

$$F_x = F_o \cdot e^{-(\mu \cdot \frac{x}{L} + K) \cdot x}$$
$$144480 = F_o \cdot e^{-(0,1 \cdot \frac{0,0153}{3} + 0,002) \cdot 2,46}$$
$$F_o = 145374,87 \text{ Kg}$$

Akibat slip anker sehingga gaya prategang pada anker hidup :

$$F_o = 145374,87 - 345,5 = 1145029,37 \text{ kg} \geq 144480 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}$$

2. Perhitungan kehilangan pratekan akibat friction dan wobble effect sepanjang bentang :

Diketahui : $k = 0.002$

$$\mu = 0.1$$

segman	μ	μL	KL	$\mu x + KL$	$e^{-\mu x}$	kehilangan pratekan segman
AB	0.0153	0.00153	0.0054	0.00693	0.99309	0.99309 F
BC	0.0153	0.00153	0.0006	0.00213	0.99787	0.99098 F
CD	0.0115	0.00115	0.0016	0.00275	0.99725	0.98826 F
DE	0.0115	0.00115	0.0064	0.00755	0.99248	0.98083 F
EF	0.04425	0.00443	0.0064	0.01083	0.98923	0.97027 F
FG	0.04425	0.00443	0.0016	0.00603	0.99399	0.96444 F
GH	0.05	0.005	0.0032	0.0082	0.99183	0.95656 F
HI	0.04	0.004	0.0128	0.0168	0.98334	0.94063 F
IJ	0.04	0.004	0.0128	0.0168	0.98334	0.92496 F
JK	0.05	0.005	0.0032	0.0082	0.99183	0.9174 F
KL	0.04425	0.00443	0.0016	0.00603	0.99399	0.91189 F
LM	0.04425	0.00443	0.0064	0.01083	0.98923	0.90207 F
MN	0.0115	0.00115	0.0064	0.00755	0.99248	0.89529 F
NO	0.0015	0.00015	0.0016	0.00175	0.99825	0.89372 F
OP	0.0153	0.00153	0.0006	0.00213	0.99787	0.89182 F
PQ	0.0153	0.00153	0.0054	0.00693	0.99309	0.88566 F

Dari tabel perhitungan kehilangan gaya prategang akibat friction dan wobble effect diperoleh besar kehilangan pratekan yang terjadi sepanjang balok adalah : $\Delta F = 0,88566 \times 144480 = 1279318,16 \text{ kg}$

6.3.4. Kontrol Tegangan yang Terjadi

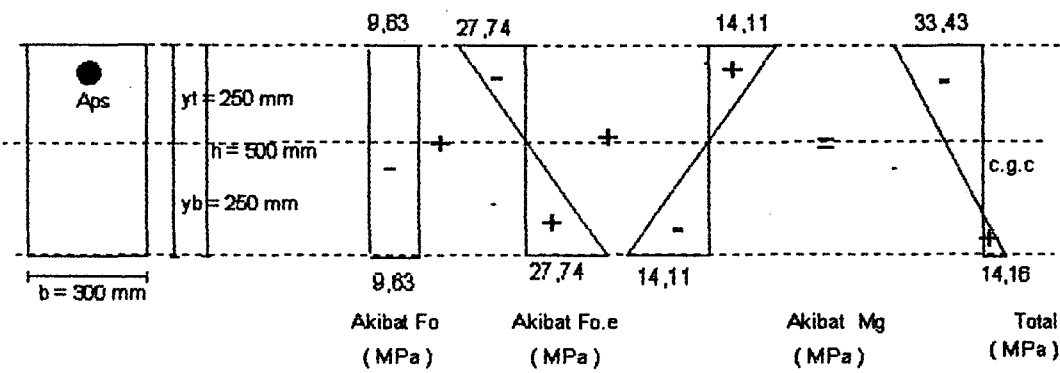
Contoh perhitungan gaya pratekan pada balok pratekan lantai 1 :

Pada saat transfer (Fo)

►Tumpuan

$$\begin{aligned} f_t &= -\frac{F_i}{A} - \frac{F_i \cdot e_{oo} \cdot Y_t}{I} + \frac{M_{min} \cdot Y_t}{I} \\ &= -\frac{1444800}{150000} - \frac{1444800 \cdot 240 \cdot 250}{312500000} + \frac{49300000 \cdot 250}{312500000} \\ &= -9,632 - 27,7402 + 3,944 \\ &= -33,43 \text{ MPa} \\ f_b &= -\frac{F_i}{A} + \frac{F_i \cdot e_{oo} \cdot Y_b}{I} - \frac{M_{min} \cdot Y_b}{I} \\ &= -\frac{1444800}{150000} + \frac{1444800 \cdot 240 \cdot 250}{312500000} - \frac{49300000 \cdot 250}{312500000} \\ &= -9,63 + 27,74 + 3,94 \\ &= 14,16 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Distribusi Tegangan didaerah tumpuan pada saat transfer

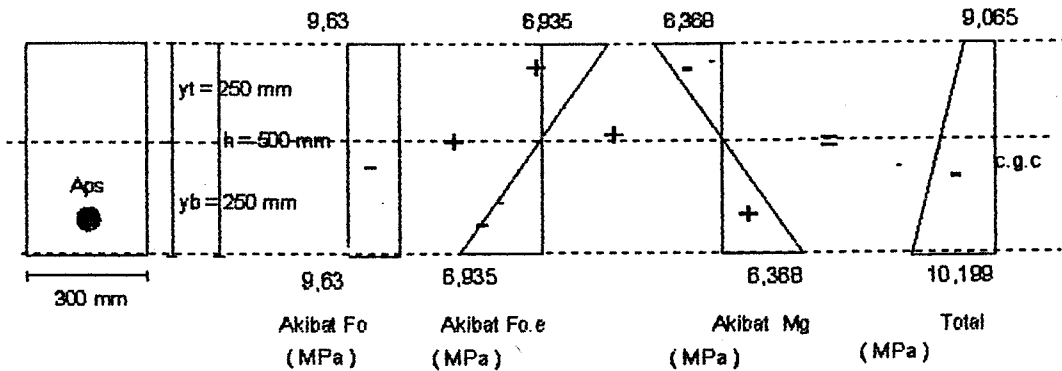


►Lapangan

$$\begin{aligned} f_t &= -\frac{F_i}{A} + \frac{F_i \cdot e_{oo} \cdot y}{I} - \frac{M \cdot y}{I} \\ &= -\frac{1444800}{150000} + \frac{1444800 \cdot 60 \cdot 250}{312500000} - \frac{79600000 \cdot 250}{312500000} \\ &= -9,632 + 6,94 - 6,37 \\ &= -9,065 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_b &= -\frac{F_i}{A} - \frac{F_i \cdot e_{oo} \cdot y}{I} + \frac{M \cdot y}{I} \\
 &= -\frac{1444800}{150000} - \frac{1444800 \cdot 60 \cdot 250}{312500000} + \frac{79600000 \cdot 250}{312500000} \\
 &= -9,63 - 6,94 + 6,37 \\
 &= -10,199 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Distribusi tegangan di daerah lapangan pada saat beban transfer

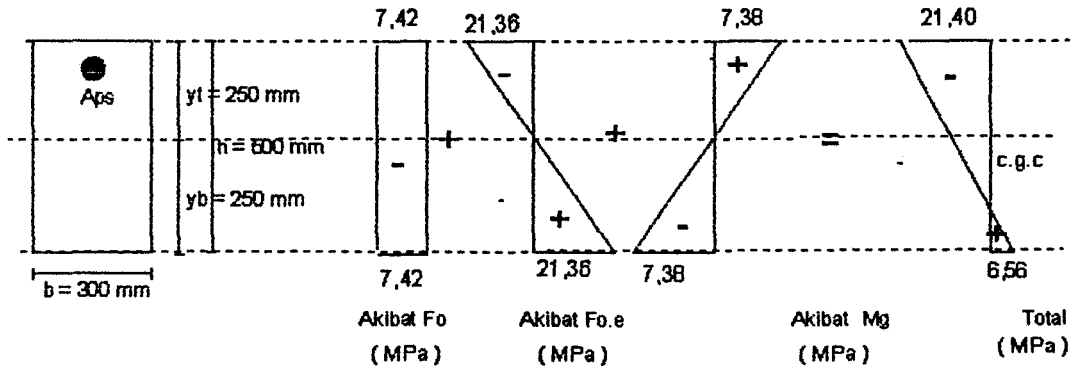


Pada saat setelah kehilangan prategangan (saat beban kerja)

► Tumpuan

$$\begin{aligned}
 f_t &= -\frac{F}{A} - \frac{F \cdot e_{oo} \cdot y}{I} + \frac{M \cdot y}{I} \\
 &= -\frac{1112700}{150000} - \frac{1112700 \cdot 240 \cdot 250}{3125000} + \frac{92300000 \cdot 250}{3125000} \\
 &= -7,42 - 21,36 + 7,38 \\
 &= -21,40 \text{ MPa} \\
 f_b &= -\frac{F}{A} + \frac{F \cdot e_{oo} \cdot y}{I} - \frac{M \cdot y}{I} \\
 &= -\frac{1112700}{150000} + \frac{1112700 \cdot 240 \cdot 250}{3125000} - \frac{92300000 \cdot 250}{3125000} \\
 &= -7,42 + 21,36 + 7,38 \\
 &= 6,56 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

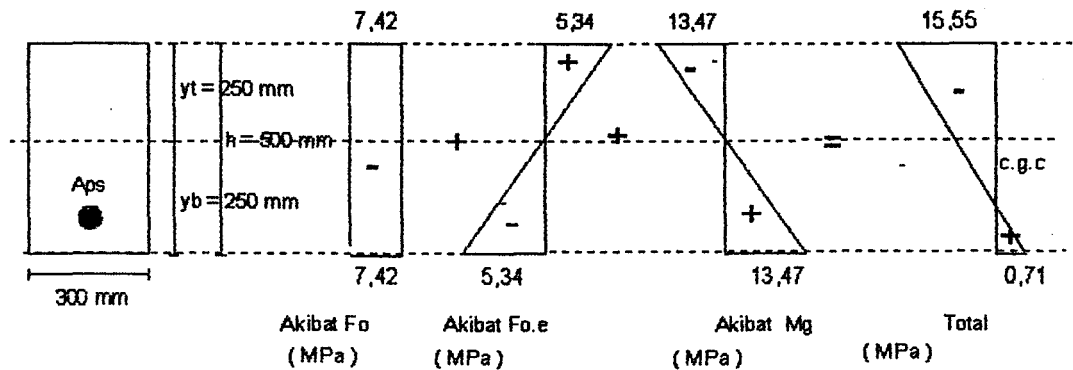
Distribusi Tegangan didaerah tumpuan pada saat beban kerja



► Lapangan

$$\begin{aligned}
 f_t &= -\frac{F}{A} + \frac{F \cdot e_{oo} \cdot y}{I} - \frac{M \cdot y}{I} \\
 &= -\frac{1112700}{150000} + \frac{1112700 \cdot 60 \cdot 250}{3125000} - \frac{164800000 \cdot 250}{3125000} \\
 &= -7,42 + 5,34 - 13,47 \\
 &= -15,55 \text{ MPa} \\
 f_b &= -\frac{F}{A} - \frac{F \cdot e_{oo} \cdot y}{I} + \frac{M \cdot y}{I} \\
 &= -\frac{1112700}{150000} - \frac{1112700 \cdot 60 \cdot 250}{3125000} + \frac{168400000 \cdot 250}{3125000} \\
 &= -7,42 - 5,34 + 13,47 \\
 &= 0,71 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Distribusi tegangan di daerah lapangan pada saat beban transfer



I. Penulangan lentur balok pratekan

Data penampang balok :

Tinggi (h)	: 500 mm
Lebar (b)	: 300 mm
Deking beton	: 40 mm
Diameter tulangan utama	: D 25
Diameter sengkang	: D 10
Mutu beton (f_c')	: 40 MPa
Mutu baja (f_y)	: 320 MPa
P_{maks}	: 0,0400
P_{min}	: 0,004385

Dari hasil analisa frame parkir dengan menggunakan software SAP'90 didapatkan gaya-gaya dalam (M_u) seperti yang terdapat dalam tabel a. pada tumpuan

$$M_u = 7,96 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 437,5 \text{ mm}$$

direncanakan besar $\delta = 0.5$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{(1-\delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{(1-0.5) 7,96 \cdot 10^7}{0.8 \times 300 \times 437.5^2} \\ &= 0,8154 \\ \rho \delta &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{320} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,8514}{0,85 \times 40}} \right) \\ &= 0.0026 \end{aligned}$$

Rasio tulangan tekan :

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{\delta Mu}{\phi \cdot f_y \cdot (d-d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0.5 \times 7,96.10^7}{0.8 \times 320 \times (437.5-62.5) \times 300 \times 437.5} \\ &= 0.003\end{aligned}$$

Rasio tulangan tarik :

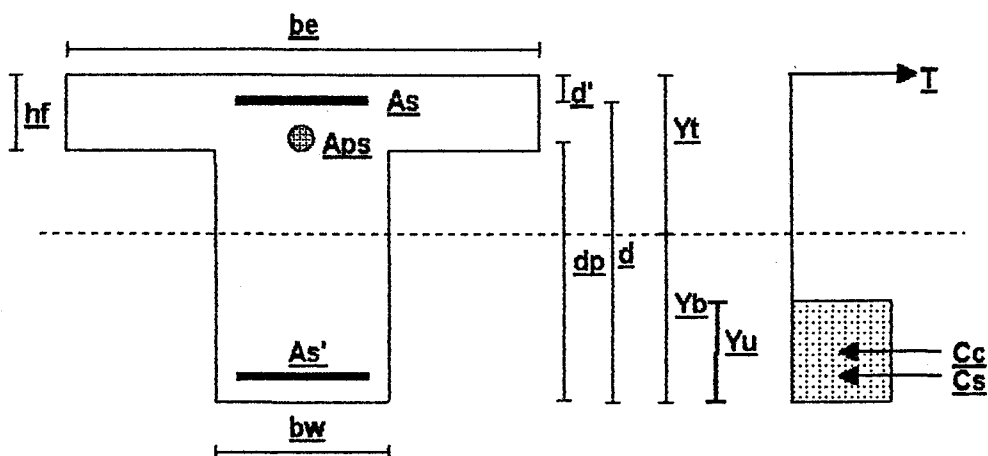
$$\begin{aligned}\rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0.0026 + 0,003 = 0.0029\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= \frac{4}{3} \times 0.0029 \times 300 \times 437.5 \\ &= 971,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

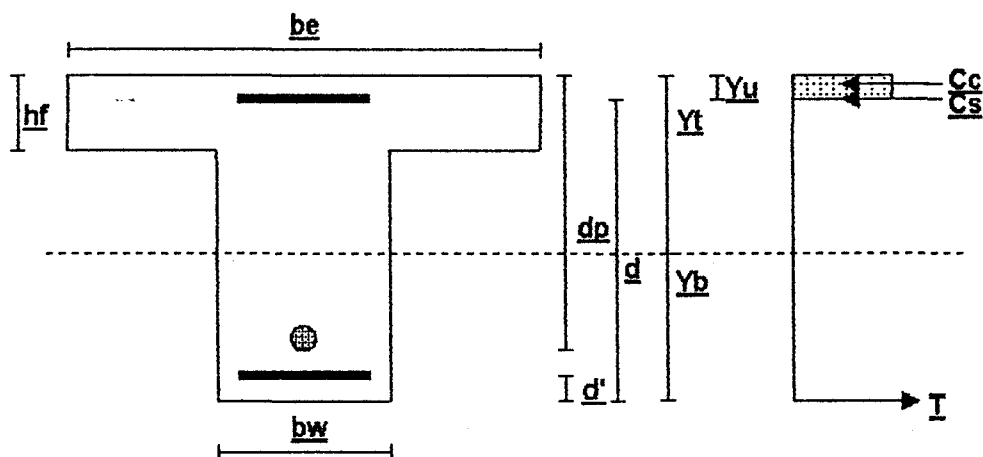
Dipakai tulangan 2D25 (As ada =981,8 mm²)

$$\begin{aligned}As' &= \rho' \cdot b \cdot d \\ &= 0.003 \times 300 \times 437.5 \\ &= 485,8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan 2D25 (As' ada = 981,8 mm²)



PENAMPANG BALOK DENGAN TULANGAN LUNAK PADA TUMPUAN



PENAMPANG BALOK DENGAN TULANGAN LUNAK PADA LAPANGAN

$$A_{ps} = 987 \text{ mm}^2 \quad f_{pu} = 1899,7 \text{ MPa}$$

$$b_e = 2700 \text{ mm} \quad b_w = 300 \text{ mm}$$

$$h_f = 150 \text{ mm} \quad d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm} \quad d = 435,5 \text{ mm}$$

$$d_p = 400 \text{ mm} \quad Y_t = 25 \text{ mm}$$

$$Y_b = 25 \text{ mm} \quad f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

6.3.5. Kekuatan Ultimate Balok Pratekan

Berkaitan dengan ketentuan untuk perencanaan beban gempa, kuat lentur rencana penampang beton prategang harus mempunyai nilai minimum 1,2 kali momen retaknya:

$$M_u \geq 1,2 \cdot M_{cr}$$

Modulus runtuh yang disyaratkan,

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \sqrt{40} = 4,427 \text{ MPa} = 44,27 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_{c'} - 30) = 0,85 - 0,008 (40 - 30) = 0,77$$

Untuk daerah lapangan

Dicoba dipasang tulangan lunak :

$$2 \text{ D25 } (A_s = 981,75 \text{ mm}^2)$$

$$4 \text{ D25 } (A_s' = 1963,5 \text{ mm}^2)$$

$$\frac{F}{A} - \frac{F \cdot e \cdot Y_b}{I} + \frac{M_{cr} \cdot Y_b}{I} = f_r$$

$$\frac{144,48}{0,15} - \frac{144,48 \cdot 0,06 \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}} + \frac{M_{cr} \cdot 0,25}{3,125 \cdot 10^{-3}} = 442,7$$

$$M_{cr} = 26,24 \text{ tm}$$

$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 26,24$$

$$= 31,49 \text{ t.m}$$

Pemeriksaan tulangan lunak pada daerah lapangan :

$$\omega = \frac{A_s f_y}{b \cdot d \cdot f_{c'}} = \frac{1963 \cdot (320)}{300 \times 437,5 \times 40} = 0,12$$

$$\omega' = \frac{A_s' f_y}{b \cdot d \cdot f_{c'}} = \frac{981,75 (320)}{300 \times 437,5 \times 40} = 0,0598$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_p} = \frac{987}{300 \times 400} = 0,00823$$

$d' = 62,5 \text{ mm} \geq 0,15d_p = 0,15 \cdot 400 = 60 \text{ mm}$, maka tulangan tekan diperhitungkan.

$$\omega_o = \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d_o}{d_p} (\omega' - \omega) \right] = \left[0,00823 \cdot \frac{1899,7}{40} + \frac{437,5}{400} \cdot (0,0598 - 0,12) \right]$$

$$= 0,32 \geq 0,17 \rightarrow \text{dipakai } 0,32$$

Maka $f_{ps} = f_{pu} \times \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \times 0,32 \right]$

$$= 1899,7 \times \left[1 - \frac{0,28}{0,77} \times 0,32 \right] = 1678,64 \text{ MPa}$$

Dengan menganggap balok berperilaku sebagai penampang persegi, maka gaya-gaya dalam memberikan :

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot Y_u \cdot b$$

$$987 \cdot 1678,64 + 1963,5 \times 320 = 0,85 \times 40 \times 0,77 \times Y_u \times 2700$$

$$Y_u = 32,33 \text{ mm}$$

$$0,77 Y_u = 224,89 \text{ mm} < h_f = 150 \text{ mm} \text{ (Sebagai penampang persegi)}$$

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d_o}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{987 \cdot 1678,64 \cdot 400 + 1963,5 \cdot 320 \cdot 437,5}{987 \cdot 1678,64 + 1963,5 \cdot 320}$$

$$= 410,31 \text{ mm}$$

Momen Nominal penampang ditengah bentang

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 Y_u \cdot b \cdot \left[d - \frac{\beta_1 Y_u}{2} \right] + A_s' E_s \left(\frac{Y_u - d_s'}{Y_u} 0,003 + \epsilon_{cs'} \right) (d - d_s')$$

$$= 0,85 \cdot 40 \cdot 0,77 \cdot 32,33 \cdot 2700 \cdot \left[437,5 - \frac{0,77 \cdot 32,33}{2} \right]$$

$$+ 981,8 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \left(\frac{35,36 - 62,5}{35,36} 0,003 - 0,000085 \right) (437,5 - 62,5)$$

$$= 9,1009 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$

$$= 9,1009 \cdot 10^2 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 0,8 \cdot 910 = 728 \text{ KN.m} > 1,2 M_{cr} = 314,9 \text{ KN.m} \rightarrow \text{OK}$$

6.3.6. Geser pada Balok Pratekan

□ Kekuatan geser beton

$$F_e = 1444800 \text{ N}$$

$$V_d = 109700 \text{ N} \quad (\text{akibat beban mati tanpa faktor})$$

$$V_l = 79500 \text{ N} \quad (\text{akibat beban hidup tanpa faktor})$$

$$V_u = 258800 \text{ N} \quad (\text{akibat beban mati dan hidup berfaktor})$$

$$M_{\max} = 458000000 \text{ Nmm} \quad (\text{akibat beban mati dan hidup berfaktor})$$

$$b_w = 300 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

Pada jarak 0,5h dari tumpuan C, besar gaya geser badan yang terjadi :

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})b_w.d + V_p$$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= 0,3(\sqrt{40} + 9,632) \cdot 300 \cdot 400 + 16900 \\ &= 591335,99 \text{ N} \end{aligned}$$

$V_{cw} > V_u$ pasang tulangan geser minimum

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b_w}$$

$$s = \frac{157 \cdot 320 \cdot 3}{300}$$

$$s = 502,4 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\phi 10 - 100$

Pada jarak 4 m dari tumpuan C, besar gaya geser badan yang terjadi :

$$V_{ci} = \left(\frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \right) b_w \cdot d + V_d + \left(\frac{V_l}{M_{\max}} \right) M_{cr} \geq 0,14 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$M_{cr} = (I/y_t) (0,5 \sqrt{f_c'} + f_{pc})$$

dimana,

$I = 7042790000 \text{ mm}^2$: momen inersia dari penampang

$y_t = 127 \text{ mm}$: jarak serat atas ke garis netral penampang

$0,5\sqrt{f'_{c'}} = 0,5\sqrt{40} = 6,325 \text{ MPa}$: tegangan tarik beton pratekan yang diijinkan

$f_{pc} = \frac{F(e_{00})y_t}{I} = \frac{1444800 \times 90 \times 127}{7042790000} = 2,345 \text{ MPa}$: tegangan akibat gaya tarik tendon pratekan

$$M_{cr} = (7042790000/127)(0,5\sqrt{40} + 2,345) \\ = 286274310,9 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = \frac{1}{20} \cdot \sqrt{40} \cdot 300 \cdot 500 + 109700 + \frac{79500 \cdot 2,86 \cdot 10^8}{4,58 \cdot 10^8} \\ = 206778,27 \text{ N} > 0,14\sqrt{40} \cdot 300 \cdot 150 = 39844,69 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_{s_2} = 258800 - 206778,27 = 52021073 \text{ N}$$

tulangan geser diameter 10 mm

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ = \frac{2 \cdot 78,54 \cdot 320 \cdot 250}{52021,73} \\ = 241,44 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\phi 10 - 200$

6.3.7. Desain Penulangan Membelah

Bagian dari komponen struktur pratekan yang mengelilingi anker tendon seringkali disebut blok ujung. Pada seluruh panjang blok ujung, gaya prategang dialihkan dari luas yang kurang lebih terpusat dan didistribusikan melalui seluruh penampang beton. Panjang teoritis blok ujung adalah jarak dimana pada jarak ini perubahan terjadi dan kadang-kadang disebut panjang anjang.

Diketahui dari pengamatan secara teoritis oleh Leonhardt bahwa panjang anjang ini tidak lebih dari tinggi balok dan seringkali lebih kecil.

Untuk merencanakan penulangan pada daerah ujung pengangkeran, hal pokok yang perlu diperhatikan adalah adanya dua daerah tegangan tarik umum. Daerah pertama terdapat pada pusat penampang yang disebut bursting zone, yang mempunyai tegangantarik maksimum sepanjang garis beban dan sejarak tertentu dari daerah itu. Daerah lainnya terdapat pada sisi-sisi beban dekat permukaan ujung, yang disebut spalling zone, dimana daerah ini dibebani oleh tegangan tarik yang tinggi, tetapi hanya pada daerah yang kecil.

6.3.7.1. Pengecekan Daerah Blok Ujung

Sebagai data dasar untuk perhitungan pengecekan daerah blok ujung adalah :

$$f_c' = 40 \quad \text{MPa}$$

$$f_{ci}' = 0,8 \times 40 = 32 \text{ MPa}$$

$$A_{ps} = 987 \quad \text{mm}^2$$

$$F_o = 144,48 \quad \text{ton}$$

Angkur yang dipakai adalah angkur sistem VSL tipe 12Sc, dengan ukuran :

$$\text{Ukuran bearing} = 215 \times 215 = 46225 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas netto bantalan, } A_1 = 46225 - 987 = 45238 \text{ mm}^2$$

Luas maksimum dari bagian permukaan beton di daerah pengankuran yang secara geometris serupa dan sepusat dengan luas angkur :

$$A_2 = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

$$\text{cek awal : } f_c = \frac{F}{A} = \frac{90000}{45238} = 31,94 \text{ MPa} < f_{ci}' \dots\dots\dots \text{OK}$$

Pada saat Jacking awal :

$$f_{cp} = 0,8 f_{ci}' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} - 0,2 \leq 1,25 f_{ci}'$$

$$= 0,8 \times 32 \sqrt{\frac{90000}{45238}} - 0,2$$

$$= 34,25 \text{ MPa} < f_{cp}(= 34,25 \text{ MPa}) \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$1,25f_{ci}' = 1,25 \times 32 = 40 \text{ MPa}$$

Pada saat akhir masa layan :

$$f_{cp} = 0,6 f_{ci}' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq f_{c'}$$

$$= 0,6 \times 32 \sqrt{\frac{90000}{45238}}$$

$$= 27,08 \text{ MPa} < f_{c'} (=40 \text{ MPa}) \dots\dots\dots \text{OK}$$

6.3.7.2. Penulangan Bursting Zone

$$\sigma_t = 0,25 \sqrt{f_{ci}} = 1,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bn} = \frac{F}{A_c} = \frac{1444800}{150000} = 9,63 \text{ MPa}$$

$a/d = 215/500 = 0,43$; dari grafik lyengara diperoleh :

$\sigma_b = 0,25 \sigma_{bn} = 0,25 \times 9,63 = 2,41 \text{ MPa} > \sigma_t = 1,41 \text{ MPa}$, maka diperlukan tulangan membelah.

Dengan interpolasi dari grafik lyengara diperoleh titik-titik potong dimana $\sigma_y = \sigma_t$, yaitu sejarak batas-batas dimana tulangan membelah diperlukan.

$$x_1 = 0,25 d = 0,25 \times 500 = 125 \text{ mm}$$

$$x_2 = 0,73 d = 0,73 \times 500 = 365 \text{ mm}$$

Daerah dimana tulangan membelah diperlukan adalah sepanjang :

$$d_3 = x_2 - x_1 = 365 - 125 = 240 \text{ mm}$$

Besarnya gaya membelah yang terjadi adalah :

$$Z = \frac{2}{3} \cdot d_3 (\sigma_b - \sigma_t) b$$

$$= \frac{2}{3} \times 240 (2,41 - 1,41) 300$$

$$= 48000 \text{ N}$$

Tulangan yang diperlukan didaerah d3 : $A = \frac{Z}{\sigma_a} = \frac{48000}{320} = 150 \text{ mm}^2$

Jarak sengkang yang diperlukan didaerah d3 : $s = \frac{A}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$

digunakan ϕ sengkang = 10 mm

6.4. PERENCANAAN STRUKTUR NON-PRATEKAN

6.4.1. Umum

Dalam bagian ini akan diuraikan tentang perencanaan struktur utama non-pratekan yang yaitu penulangan balok induk selengkapnya, yang meliputi perencanaan penulangan lentur, penulangan geser torsi dengan ketentuan tingkat daktilitas dua, kontrol lendutan, kontrol retak dan perhitungan panjang penyalurannya.

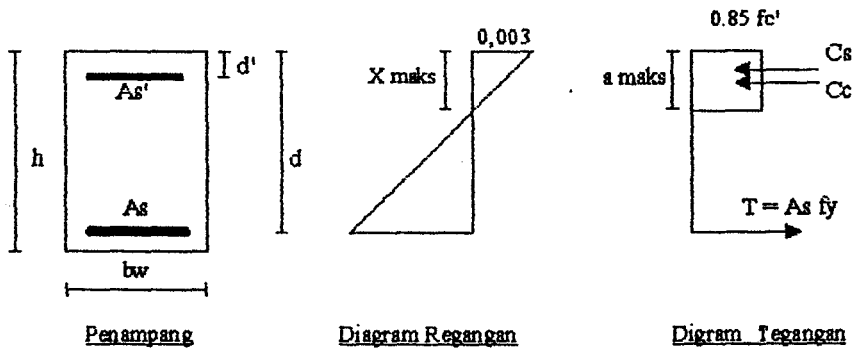
6.4.2. Perencanaan Balok Induk

6.4.2.1. Dasar Perencanaan.

Prinsip perhitungan untuk penulangan balok induk adalah sama dengan penulangan lentur balok anak, hanya pada penulangan lentur balok induk, banyak dijumpai momen yang berbalik arah akibat gempa. Jadi momen pada tumpuan bisa berharga negatif (akibat beban gravitasi) maupun positif (akibat beban gempa yang cukup besar), sehingga penulangan didasarkan pada masing-masing arah momen yang terjadi pada balok induk tersebut.

Untuk kondisi pembebanan seperti ini, maka secara praktis perhitungan penulangan yang dipakai adalah tulangan tunggal. Tulangan tekan dengan sendirinya akan terpasang pada kondisi momen yang berbalik arah, sedangkan untuk momen tunggal, ada dua kondisi sistem penulangan :

1. Apabila $\rho_{perlu} < \rho_{max}$, maka tulangan tekan hanya dipasang praktis saja.
2. Apabila $\rho_{perlu} > \rho_{max}$, maka tulangan tekan diperhitungkan



Gambar 6.1. Penampang Persegi dengan Tulangan Rangkap

Balok Persegi Dengan Tulangan Rangkap

Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Hitung d , d'

$$d = h - d_c - \phi \text{ sengkang} - \phi \text{ tulangan utama} / 2$$

$$d' = d_c + \phi \text{ sengkang} + \phi \text{ tulangan utama} / 2$$

2. Hitung R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

3. Hitung ρ

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right]$$

4. Cek terhadap ρ_{maks}

$$\rho_{maks} = 0,75 \left[\beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \right]$$

bila $\rho > \rho_{maks}$, maka perlu tulangan tekan

5. Hitung x_b , X_{maks} , a_{maks}

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

$$X_{maks} = 0,75 x_b$$

$$a_{maks} = 0,85 \cdot X_{maks}$$

6. Hitung C_c maks, M_n maks

$$C_c \text{ maks} = 0,85 f_c' a \text{ maks } b$$

$$M_n \text{ maks} = C_c \text{ maks} (d - a \text{ maks}/2)$$

7. Hitung momen sisa yang harus dipikul oleh tulangan tekan

$$M_{ns} = M_n \text{ perlu} - M_n \text{ maks}$$

8. Hitung gaya harus ditahan tulangan tekan akibat momen sisa tersebut

$$C_s \text{ perlu} = \frac{M_{ns}}{d - d'}$$

9. Periksa keadaan tulangan tekan leleh :

$$e_{s'} = \frac{X_{\text{max}} - d'}{X_{\text{max}}} \times 0,003 \geq e_y \rightarrow e_y = \frac{f_y}{E_s}$$

10. Hitung luas tulangan tekan dan tarik sesuai keadaan tulangan tekan diatas

a. Tulangan tekan leleh :

$$A_{s'} = \frac{C_s \text{ perlu}}{f_y - 0,85 f_c'}$$

$$A_s = \frac{C_c \text{ maks}}{f_y} + A_{s'}$$

b. Tulangan tekan belum leleh :

$$A_{s'} = \frac{C_s \text{ perlu}}{f_{s'} - 0,85 f_c'} \rightarrow f_{s'} = E_s \cdot e_{s'}$$

$$A_s = \frac{C_c \text{ maks}}{f_y} + A_{s'} \frac{f_{s'}}{f_y}$$

6.4.2.2. Perhitungan Penulangan Lentur Balok Induk

Dalam menghitung penulangan lentur balok Induk, cara yang dipakai sama seperti pada perhitungan penulangan lentur balok anak.

Contoh Perhitungan :

Penulangan Balok Terhadap Lentur dan Kombinasi antara Geser dan Torsi.

Diambil contoh balok induk lantai 1A dengan panjang bentang 9 m.

I. Penulangan lentur

Data penampang balok :

Tinggi (h)	: 600 mm
Lebar (b)	: 300 mm
Deking beton	: 40 mm
Diameter tulangan utama	: D 25
Diameter sengkang	: D 10
Mutu beton (f_c')	: 25 MPa
Mutu baja (f_y)	: 320 MPa
ρ_{maks}	: 0,02761
ρ_{min}	: 0,004385

Dari hasil analisa frame gedung parkir dengan menggunakan software SAP'90 didapatkan gaya-gaya dalam (M_u) seperti yang terdapat dalam tabel .

Perhitungan Penulangan Lentur Balok Induk

a. pada tumpuan

$$M_u = 4,314 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 537,5 \text{ mm}$$

direncanakan besar $\delta = 0.5$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{(1-\delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{(1-0.5) 4,314 \cdot 10^8}{0.8 \times 300 \times 537.5^2} \\ &= 3,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \delta &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{\phi f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{320} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,11}{0,85 \times 40}} \right) \\ &= 0,0106\end{aligned}$$

Rasio tulangan tekan :

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{\delta \cdot Mu}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,5 \times 4,314 \cdot 10^{-3}}{0,8 \times 320 \times (537,5 - 64,5) \times 300 \times 537,5} \\ &= 0,011\end{aligned}$$

Rasio tulangan tarik :

$$\begin{aligned}\rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,0106 + 0,011 = 0,0216\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0216 \times 300 \times 537,5 \\ &= 3483 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan 8D25 (As ada = 3927 mm²)

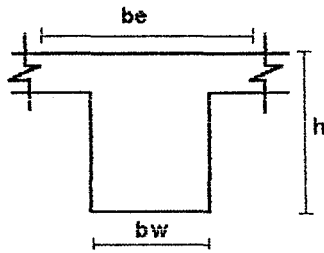
$$\begin{aligned}As' &= \rho' \cdot b \cdot d \\ &= 0,011 \times 300 \times 537,5 \\ &= 1773,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan 4D25 (As' ada = 1962,5 mm²)

b. Pada lapangan

$$\begin{aligned}Mu &= 1,475 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \\ d &= 600 - 40 - 10 - 25/2 \\ &= 537,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol balok T :



$$be = 1/4 L$$

$$= 1/4 \times 900$$

$$= 225 \text{ cm}$$

$$be = bw + 16 t$$

$$= 30 + 16 \times 15$$

$$= 270 \text{ cm}$$

$$be = bw + Ln$$

$$= 30 + 870$$

$$= 900 \text{ cm}$$

Jadi $be = 225 \text{ cm}$ (terkecil)

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{(1 - 0.5) \cdot 1,475 \cdot 10^8}{0.8 \times 300 \times 537.5^2} \\ &= 1,064 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times 1,064}{320}} \right) \\ &= 0.0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta Mu}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0.5 \times 1,475 \times 10^8}{0.8 \times 320 \times (537.5 - 62.5) \times 300 \times 537.5} \\ &= 0.00354 \end{aligned}$$

$$\rho = \rho \delta + \rho' = 0.00696$$

$$\rho_{\text{terpakai}} = 4/3(0.00696) = (\text{SKSNI pasal 3.3.5.2})$$

$$\begin{aligned} a &= \rho \frac{M_u}{0.85 \cdot f_c'} \cdot x d \\ &= 0.00928 \times \frac{1,475 \cdot 10^8}{0.85 \times 25} \times 537.5 \\ &= 75,11 \text{ mm} < t = 150 \text{ mm} \quad \text{Balok T palsu} \\ &= 57.41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M_u}{\phi (d - a/2) f_y} \\ &= \frac{1,475 \times 10^8}{0.8 \times (537.5 - 75.11/2) \times 320} \\ &= 1084,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

pakai tulangan 3D25 ($A_s = 1472,6 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_s' &= 0.5 \times A_s \\ &= 0.5 \times 1472,6 \\ &= 542,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

pakai tulangan 2D25 ($A_s' = 981.8 \text{ mm}^2$)

♦ Kontrol momen

$$\begin{aligned} \rho_{\text{ada}} &= \frac{A_s}{b \cdot d} \\ &= \frac{1472,6}{300 \times 537.5} \\ &= 0.00913 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho'_{\text{ada}} &= \frac{A_s'}{b \cdot d} \\ &= \frac{981.8}{300 \times 537.5} \\ &= 0.0061 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \rho \delta \left(1 - \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \\ &= 0.00751 - 0.00751 \left(1 - \frac{0.85 \times 25}{320} \right) \\ &= 0.0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 0.85 \beta_1 \left(\frac{f_c' \cdot d'}{f_y \cdot d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \\ &= 0.85 \times 0.85 \times \frac{25 \times 62.5}{320 \times 537.5} \left(\frac{600}{600 + 320} \right) \\ &= 0.0141 \end{aligned}$$

Ternyata $A < B$, maka tulangan tekan belum leleh,

$$a = 0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot b = 0.85 \times 25 \times 0.85 \times 300 = 5418.75$$

$$b = 0.003 \cdot A_s' \cdot E_s - 0.85 \cdot f_c' \cdot A_s' - A_s \cdot f_y$$

$$= 0.003 \times 981.8 \times 2.1 \times 10^5 - 0.85 \times 25 \times 981.8 - 1472.6 \times 320$$

$$= 0.0000126$$

$$c = -0.003 \cdot A_s' \cdot d' \cdot E_s$$

$$= -0.003 \times 981.8 \times 62.5 \times 2.1 \times 10^5$$

$$= -3.86 \times 10^7$$

Dari persamaan abc diperoleh harga letak garis netral $x_{12} = 63.53 \text{ mm}$

$$a = 0.85 \times 73.58 = 62.55 \text{ mm}$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0.85 \cdot f_c') = 293148.4375 \text{ MPa}$$

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 398733.44 \text{ MPa}$$

$$M_n = C_s(d - d') + C_c(d - a/2)$$

$$= 293148.4375 (435.5 - 64.5) + 398733.44 (537.5 - 62.55)$$

$$= 341095057.12 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 0.85 M_n$$

$$= 0.85 \times 341095057.12$$

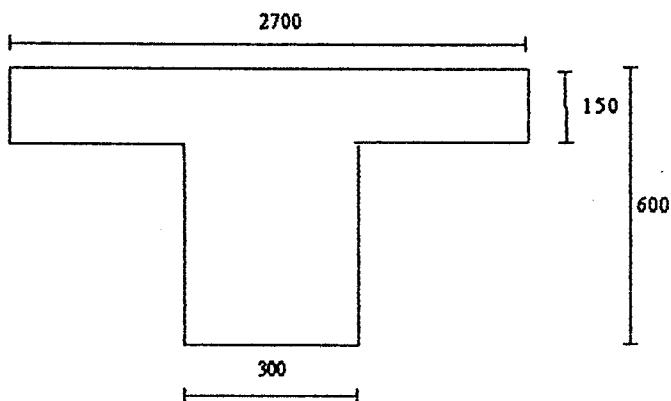
$$= 2.73 \times 10^8 \text{ Nmm} > 1.475 \times 10^8 \text{ Nmm (OK)}$$

6.4.2.3. Perhitungan Penulangan Geser dan Torsi Pada Balok Induk

Penampang persegi yang mengalami kombinasi dari geser, lentur, dan torsi harus diperhitungkan terhadap model keruntuhan suatu komponen struktur oleh puntiran.

Sebagai contoh perhitungan penulangan geser dan torsi diambil balok BIL- 1 :

- ☐ $V_u = 191800 \text{ N}$ (dari hasil analisa SAP 90)
- ☐ $T_u = 300000 \text{ Nmm}$ (dari perhitungan momen tumpuan pelat $\times \frac{1}{2}$ bentang)
- ☐ Ukuran balok = $300 \times 600 \text{ mm}$
- ☐ Mutu beton (f_c') = 25 MPa
- ☐ Mutu baja (f_y) = 320 MPa
- ☐ Decking = 40 mm
- ☐ Sengkang = $\phi 10$
- ☐ Tulangan utama = $D 25$
- ☐ $\Sigma x^2 y = 256500000 \text{ mm}^3$



► Batas Torsi :

$$\begin{aligned}\phi T_c &= \phi \cdot \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{f_c} \cdot \Sigma (x^2 \cdot y) \right) \\ &= 0,6 \cdot \frac{1}{20} \cdot \sqrt{25} \cdot 256500000 \\ &= 3,85 \cdot 10^7 \text{ Nmm} \gg \text{Torsi yang terjadi} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Torsi dapat diabaikan

► Batas geser :

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \right) \\ &= 0,6 \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot 300 \cdot 535,5 \right) \\ &= 80300 \text{ N} < V_u \rightarrow \text{perlu tulangan geser}\end{aligned}$$

► Jarak tulangan geser ($\phi 10$ - 2penampang) :

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_v \cdot \phi \cdot f_y \cdot d}{(V_u - \phi V_c)} \\ &= \frac{113,1 \cdot 0,6 \cdot 320 \cdot 535,5}{(191800 - 133900)} \\ &= 118,16 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipasang tulangan geser $\phi 10$ -200

Selanjutnya untuk penulangan geser-torsi pada balok induk lantai parkir yang lainnya dapat dilihat pada lampiran.

6.4.2.4. Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan dan kontrol retak pada balok induk adalah sama caranya dengan kontrol lendutan dan retak pada balok anak. SKSNI 91 menyatakan bahwa bila tinggi balok induk lebih besar dari pada tinggi minimum seperti yang disyaratkan dalam tabel 3.2.5 (a), maka lendutan tidak perlu dihitung.

6.4.2.5. Kontrol Retak

SKSNI 91 psi 3.3.6.4 menyebutkan bahwa apabila tegangan leleh rancang (f_y) untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen negatif dan positif maksimum harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga nilai z yang diberikan oleh :

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (\text{SKSNI 91 Persamaan 3.3.4})$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang didalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana f_s boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh yang disyaratkan, f_y .

6.4.2.6. Panjang Penyaluran Balok Induk

☐ Panjang Penyaluran

☐ Panjang penyaluran tulangan tarik :

Perhitungan panjang penyaluran untuk balok induk untuk tulangan D 25

$$L_{db} = \frac{0,02 \cdot A_b \cdot f_y}{\sqrt{f_{c'}}$$

$$L_{db} = \frac{0,02 \cdot 491 \cdot 320}{\sqrt{25}}$$

$$= 628 \text{ mm} \approx 65 \text{ cm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$L_{db} = 0.06 \times D_b \times f_y$$

$$= 0.06 \times 25 \times 320$$

$$= 480 \text{ mm} \approx 48 \text{ cm}$$

☐ Akibat top bar efect (tulangan atas)

$$L_d = 1,4 L_{db} = 1,4 \times 480 = 672 \approx 68 \text{ cm}$$

Panjang penyaluran dasar untuk tulangan D25 adalah :

$$L_{db} = \frac{D_b \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f_{c'}}} = \frac{25 \times 320}{4 \times \sqrt{25}}$$

$$= 400 \text{ mm} \approx 40 \text{ cm}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$L_{db} = 0.04 \cdot D_b \cdot f_y$$

$$= 0,04 \times 25 \times 320 = 32 \text{ cm}$$

☐ **Panjang Penyaluran Kalt Standart Dalam Tarik**

Panjang penyaluran dasar kalt standart (hook) dari tulangan D25 adalah :

$$L_{hb} = \frac{100 \cdot d_b}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \times 25}{\sqrt{25}} = 500 \text{ mm} \approx 50 \text{ cm}$$

Panjang penyaluran hook :

$$L_{dh} = L_{hb} \left(\frac{f_y}{400} \right) \times 0,7 = 500 \times \left(\frac{320}{400} \right) \times 0,7 = 280 \approx 28 \text{ cm}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$L_{dh} = 8 \cdot d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$$

☐ **Panjang Penyaluran Tulangan momen positif**

Sepertiga dari tulangan tarik pada momen negatif diteruskan pada jarak terbesar antara : (SKSNI pasal 3.5.12)

$$d = 787,5 \text{ mm} \approx 80 \text{ cm}$$

$$12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm} \approx 30 \text{ cm}$$

$$L_n / 16 = 9000 / 16 = 562,5 \approx 60 \text{ cm}$$

6.5. PERENCANAAN KOLOM

6.5.1. Umum

Bagian ini membahas perencanaan penulangan lentur kolom, kontrol biaksial bending pada kolom dengan Bresler Reciprocal Method, penulangan geser kolom, dan perencanaan pertemuan balok dan kolom.

Suatu komponen struktur yang menerima momen lentur dan aksial tekanyang bekerja secara serentak harus diperhitungkan sebagai beam column dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk yang terjadi akibat kelangsingan komponen struktur tersebut.

Dengan adanya faktor tekuk akibat pengaruh kelangsingan ini, pada komponen struktur tekan dan lentur akan terjadi momen tambahan sebesar $M_o = P.D$, sehingga untuk suatu komponen struktur tekan dan lentur langsing, momen-momen pada ujung kolom harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran yang akan diuraikan pada pasal-pasal dibawah ini.

6.5.2. Panjang Tekuk Kolom

Panjang tekuk kolom adalah panjang bersih kolom antara pelat lantai atau balok diujung-ujungnya yang dikalikan dengan suatu faktor tekuk (k) yang besarnya:

$k \geq 1$ untuk kolom tanpa pengaku samping (unbraced)

$k \leq 1$ untuk kolom dengan pengaku samping (braced)

Faktor tekuk (k) merupakan fungsi dari tingkat penjepitan ujung atas (m_A) dan tingkat penjepitan ujung bawah (m_B) dimana tingkat penjepitan ujung kolom tersebut dengan persamaan :

$$\mu = \frac{\sum EI / Lu \text{ kolom}}{\sum EI / Lu \text{ balok}}$$

dimana :

μ = Tingkat penjepitan ujung kolom

EI / Lu = Faktor kekakuan kolom atau balok yang ditinjau

Nilai dari faktor tekuk (k) dapat diperoleh dari nomogram dengan nilai-nilai m_A dan m_B kemudian menarik garis lurus yang melewati titik-titik m_A dan m_B tersebut sehingga dapat nilai k .

6.5.3. Pembatasan Penulangan Kolom

SKSNI psi 3.3.9-1 menyebutkan bahwa ratio penulangan kolom disyaratkan untuk tidak kurang dari 1% tetapi tidak lebih dari 8% dari luas bruto penampang kolom adalah :

$$0,01 \leq \rho \leq 0,08$$

Pembatasan rasio tulangan minimum ini ditujukan untuk mencegah terjadinya retak akibat rangkak (creep) yang terjadi pada beton sedangkan pembatasan rasio tulangan maksimum didasarkan atas pertimbangan kesulitan pemasangan dilapangan.

Jumlah minimum batang tulangan memanjang kolom adalah 4 buah untuk kolom dengan sengkang pengikat segi empat dan 6 buah untuk kolom dengan pengikat spiral.

65.4. Kolom Pendek

Suatu unsur tekan pendek bila dibebani gaya aksial lebih besar dari kapasitasnya akan mengalami keruntuhan bahan (runtuhnya beton) sebelum mencapai ragam keruntuhan akibat tekuk. Oleh sebab itu untuk perencanaan struktur tekan pendek, bahaya akibat tekuk tidak perlu diperhitungkan.

Suatu komponen struktur tekan dikatakan pendek apabila perbandingan kelangsingan yaitu perbandingan panjang tekuk kolom ($k L_n$) terhadap radius girasi (r) :

$$\frac{k L_n}{r} < 34 - 12 \times \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \rightarrow M_{2b} > M_{1b}$$

dimana :

- Nilai $\frac{M_{1b}}{M_{2b}} = 1$ (untuk unbraced frame)

- nilai r sebesar $\sqrt{\frac{I}{A}}$ atau :

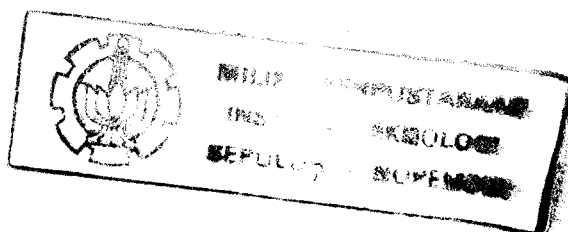
- 0.3 h dalam arah momen yang ditinjau untuk kolom persegi, atau

- 0.25 d untuk kolom bulat (d = diameter kolom)

5.5. Kolom Panjang

Apabila nilai perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek diatas tidak terpenuhi, maka suatu komponen struktur tekan boleh dikatakan kolom panjang.

Kolom dengan perbandingan kelangsingan besar akan menimbulkan endutan ke samping (menekuk) akibat momen sekunder yang terjadi, sehingga mengurangi kekuatan nominal dari kolom panjang tersebut. Untuk itu dalam perhitungan kolom panjang diperlukan suatu faktor pembesaran momen yang harus diperhitungkan terhadap panjang tekuk kolom.



6.5.6. Faktor Pembesaran Momen Untuk Kolom Panjang

Di dalam peraturan ACI, perhitungan dari pengaruh kelangsingan menggunakan cara pembesaran moment, dimana moment primer dan sekunder dikalikan dengan suatu faktor pembesaran δ .

SKSNI'91 ps1 3.3.11-5 menyebutkan bahwa apabila suatu kolom adalah kolom panjang, maka momen yang terjadi harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran menjadi :

$$M_c = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \rightarrow (\text{SKSNI '91 Pers. 3.3-6})$$

dimana :

M_c = Momen rencana kolom setelah diperbesar

M_{2b} = Momen yang tidak menimbulkan pergoyangan

M_{2s} = Momen yang dapat menimbulkan pergoyangan

$$d_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi \cdot P_c}} \geq 1 \quad (\text{SKSNI '91 Pers. 3.3-7})$$

$$d_s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c}} \geq 1 \quad (\text{SKSNI '91 Pers. 3.3-8})$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \geq 0,4 \quad (\text{SKSNI '91 Pers. 3.3-12})$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_n)^2} \quad (\text{SKSNI '91 Pers 3.3-9})$$

$$EI = \frac{0,2 E_c I_g + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad (\text{SKSNI '91 Pers 3.3.10})$$

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

$$= 0,65$$

Dalam perencanaan gedung ini, kolom dirancang sebagai Unbraced Frame, karena tidak ada pengekangan goyangan kesamping struktur.

5.7. Perhitungan Penulangan Lentur Kolom

Dari perhitungan pembesaran momen untuk kolom panjang diatas, maka penulangan lentur dapat dicari dengan bantuan diagram interaksi M - N dan dimensi

Diagram interaksi M-N tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton dan mutu baja tulangan, sumbu ordinatnya menyatakan P_u dan sumbu absisnya menyatakan $M_u = M_c$ dengan rumus :

$$\frac{\phi M_n}{A_g h} \rightarrow \text{Untuk sumbu x}$$

$$\frac{\phi P_n}{A_g h} \rightarrow \text{Untuk sumbu y}$$

Dengan menarik garis vertikal sejajar sumbu y dari nilai x dan garis horizontal sejajar sumbu x dari nilai y, dapat diperoleh nilai r dengan menginterpolasi nilai-nilai yang sudah tersedia pada garis lengkung.

Rasio tulangan total dari kolom (r total) diperoleh dengan mengalikan nilai r dengan luasan penampang kolom.

5.8. Kontrol Dengan Bresler Reciprocal Method

Bresler Reciprocal Method merupakan salah satu teori dalam pengecekan kolom yang mengalami moment dari dua arah (biaksial bending)

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Penulangan kolom dihitung dengan menggunakan momen gabungan 2 arah yang terbesar (setelah diperbesar dengan faktor pembesaran moment).

$$M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left(\frac{h}{b} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \quad \text{untuk} \quad \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$

$$M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left(\frac{b}{h} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \quad \text{untuk} \quad \frac{M_{ny}}{M_{nx}} > \frac{b}{h}$$

dimana :

Mox = momen gabungan arah x

Moy = momen gabungan arah y

$\frac{b}{h}$ = perbandingan panjang dan lebar penampang kolom

b = faktor konstan dari kekuatan momen uniaksial dalam perencanaan disarankan 0,65

Mnx = momen nominal arah x

Mny = momen nominal arah y

2. Tulangan hasil perhitungan pada langkah 1 dicek terhadap biaksial bending dengan Bresler Reciprocal Method dengan memasukkan momen gabungan terbesar setelah diperbesar dengan faktor pembesaran momen (ϕ).

3. Kekuatan penampang tekan yang memperoleh gaya aksial dan momen lentur dalam dua arah sumbu utamanya (momen biaksial) dapat dirumuskan sbb :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}$$

dimana :

- P_{nb} = kekuatan nominal kolom akibat momen dua arah
- P_{ox} = kekuatan nominal kolom dengan momen arah x
- P_{oy} = kekuatan nominal kolom dengan momen arah y
- P_o = kekuatan nominal kolom dengan momen = 0

Nilai kekuatan tekan nominal biaksial (P_{nb}) harus lebih besar daripada beban aksial (P_n) yang dihitung dengan momen satu arah saja.

6.5.9. Perhitungan Penulangan Geser dan Torsi Kolom

Penulangan geser pada kolom pada hakekatnya adalah sama dengan penulangan geser pada balok, hanya pada kolom daerah ujung-ujung kolom harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa (diatur pada PB'89 Appendiks A).

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan tulangan geser pada kolom adalah sbb:

- Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi terkecil kolom tidak boleh lebih besar dari 25.
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup maupun sengkang majemuk.
- Spasi majemuk dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter sengkang, dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Pada daerah ujung sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (ϕV_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam pasal 3.4 SKSNI'91.
- Pada komponen struktur kolom, torsi kompabilitas tidak boleh dipakai karena pada kolom tidak terjadi redistribusi gaya-gaya dalam kecuali untuk suatu komponen kolom khusus.

Sedangkan langkah-langkah perhitungan penulangan geser seperti pada perencanaan balok induk .

Sebagai contoh perhitungan diambil kolom K-8 lantai satu dengan data perencanaan sebagai berikut :

Reaksi kolom K-8 :

- ☐ Ukuran kolom = 50 x 50 cm
- ☐ Mutu beton = 25 MPa
- ☐ Mutu baja = 320 MPa
- ☐ Decking = 4 cm
- ☐ Tulangan utama = D 25
- ☐ Begel = D 10
- ☐ Ukuran balok induk = 30 x 60 cm
- ☐ Ukuran balok induk = 30 x 50 cm

Perkiraan Prosentase Tulangan

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1199}{0.65} = 1844,6 \text{ t}$$

M_x > M_y maka :

$$\begin{aligned} M_{ox} &= M_{nx} + M_{ny} \left(\frac{h}{b} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \\ &= \frac{63,38}{0,65} + \frac{32,89}{0,65} \left(\frac{100}{100} \right) \left(\frac{1-0,65}{0,65} \right) \\ &= 124,75 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\frac{\phi M_n}{A_g h} = \frac{0,65 \cdot 1,2475 \cdot 10^9}{1000^3} = 0,81$$

$$\frac{P_n}{A_g} = \frac{0,65 \cdot 1,8446 \cdot 10^7}{1000^2} = 11,99$$

Dari diagram iterasi 4 muka didapat :

$$\rho = 1 \% \rightarrow A_s = 0,01 \cdot 500^2 = 2500 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan -D25 (A_s = 137,38 mm²)

Menghitung EI Balok

$$E_c = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 500^3 = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = \frac{1}{2} I_g = 1,5625 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI = E_c \cdot I_{cr} = 23500 \cdot 1,5625 \cdot 10^9 = 3,6719 \cdot 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

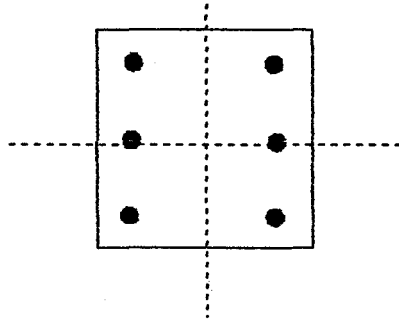
$$E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 600^3 = 5,4 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = \frac{1}{2} I_g = 2,7 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI = E_c \cdot I_{cr} = 23500 \cdot 2,7 \cdot 10^9 = 6,345 \cdot 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Menghitung EI Kolom



Gambar Penampang Kolom K-8

$$E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} bd &= \frac{M_d}{\frac{M_{total}}{63,38}} \\ &= \frac{8,75}{63,38} \\ &= 0,138 \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 500^3 = 8,333 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,2 \cdot E_c \cdot I_g + E_s \cdot I_s}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,2 \cdot 23500 \cdot 8,333 \cdot 10^{10} + 2,1 \cdot 10^5 \cdot 177220,31 \cdot 10^4}{1 + 0,138} \\ &= 6,71 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Harga Ky (Interior)

$$\mu = \frac{\sum EI/L_{kolom}}{\sum EI/L_{balok}}$$
$$\mu A = \frac{(1,224 \cdot 10^{14}/3000)}{(8,345 \cdot 10^{13}/9000 + 4,645 \cdot 10^{13}/8000)} = 3,174$$
$$\mu B = \text{Perletakan dasar terjepit} = 1$$

$$KX = 1,57$$

Batas Kelangsingan

$$\frac{K \cdot L_u}{r} = \frac{1,57 \cdot 2400}{150} = 25,12 < 22 \rightarrow \text{Kolom langsing}$$

Sehingga diperlukan perhitungan efek kelangsingan.

$$\beta_d = \frac{1,2 \times 1,15}{1,2 \times 1,15 + 1,6 \times 24,54} = 0,49$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 3,286 \cdot 10^{14}}{(1,57 \times 2400)^2} = 2,284 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 8 \times 2,284 \cdot 10^8$$

$$\delta_b = \frac{1}{1 - \frac{3,4012 \cdot 10^6}{0,65 \times 2,284 \cdot 10^8}} = 1,02$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{4,139 \cdot 10^7}{0,65 \times 1,827 \cdot 10^8}} = 1,53$$

$$Mc_2 = 1,025 \times 1,429 \cdot 10^8 + 1,53 \times 2,788 \cdot 10^8$$

$$= 5,723 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$M_{n2} = \frac{Mc_2}{\phi} = \frac{5,723 \cdot 10^8}{0,65} = 8,805 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = 5,233 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$K_x = \frac{\phi M_n}{f_c' \cdot A_g \cdot h} = \frac{0,65 \times 8,805 \cdot 10^8}{25 \times 500^3} = 0,18$$

$$K_y = \frac{\phi P_n}{f_c' \cdot A_g} = \frac{0,65 \times 5,233 \cdot 10^6}{25 \times 500^2} = 0,5$$

Dari diagram interaksi kolom dengan $f_c' = 25 \text{ MPa}$ dan $f_y = 320 \text{ MPa}$, maka diperoleh nilai $\rho = 0,01$.

Maka tulangan lentur kolom :

$$A_s = 0,01 \times 500 \times 500 = 2500 \text{ mm}^2$$

pakai tulangan 6D25 ($A_s \text{ ada} = 2945,2 \text{ mm}^2$)

$$P_{g \text{ aktual}} = \frac{2945,2}{500 \times 500} = 0,012$$

Kontrol Dengan Metoda Beban Berlawanan Bresler

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}$$

Dari diagram interaksi diperoleh :

$$- \rho = 1,2 \% , \quad \frac{M_x}{0,85} = \frac{2,783 \cdot 10^8}{0,85} = 4,289 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \frac{\phi P_{oy}}{A_g \cdot f_c'} = 10,8$$

$$P_{oy} = 1,038 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$- \rho = 1,2 \% , \quad \frac{M_y}{0,85} = \frac{1,429 \cdot 10^8}{0,85} = 2,198 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \frac{\phi P_{ox}}{A_g \cdot f_c'} = 13$$

$$P_{ox} = 1,25 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot (5002 - 2945,2) + 2945,2 \cdot 320$$

$$= 6,192 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{P_{nb}} &= 1 / \left(\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} + \frac{1}{P_o} \right) \\ &= \frac{1}{\frac{1}{1,25 \cdot 10^8} + \frac{1}{1,038 \cdot 10^8} + \frac{1}{6,192 \cdot 10^6}} \\ &= \frac{1}{1,79 \cdot 10^{-7}} \end{aligned}$$

$$P_{nb} = 5,582 \cdot 10^6 \text{ N} > P_n = 5,233 \cdot 10^6 \text{ N} \quad \text{Ok}$$

Penulangan Geser

$$\square V_u = 8,60 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\square N_u = 3,4012 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\square T_u = 2 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$

$$\square \text{Tulangan geser} = \phi 10$$

$$\square f_y = 320 \text{ MPa}$$

Sumbangan Kekuatan Beton

$$\phi V_c = 0,5 \cdot \phi \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right)$$

$$= 0,5 \cdot 0,6 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot 500 \cdot 500 \left(1 + \frac{3,4012 \cdot 10^6}{14 \cdot 500 \cdot 500} \right)$$

$$= 1,232 \cdot 10^5 \text{ N} > V_u = 8,60 \cdot 10^4 \text{ N} \quad (\text{tidak diperlukan tulangan geser})$$

Untuk keamanan dipasang tulangan geser praktis $\phi 10 - 100$ untuk tumpuan dan di tengah-tengah kolom $\phi 10 - 200$.

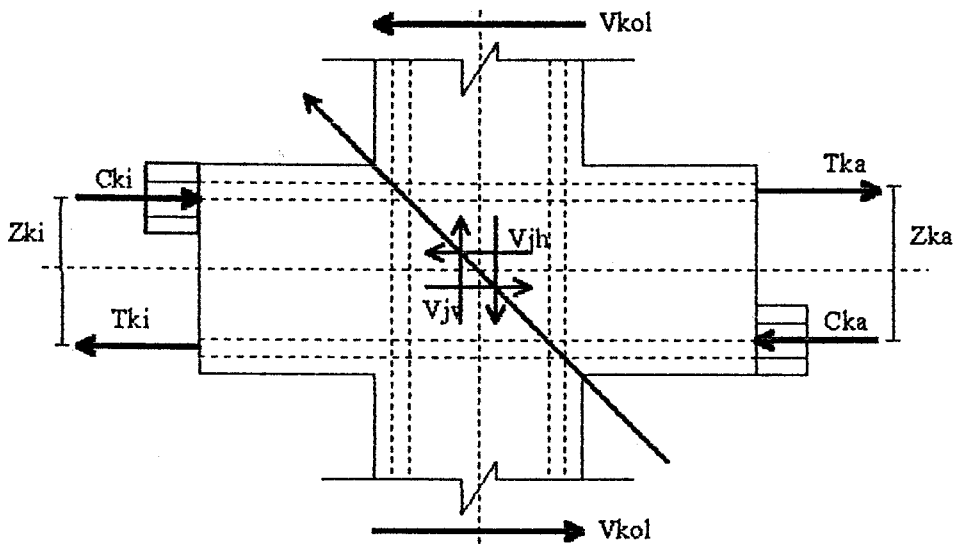
6.5.10. Pertemuan Balok Dan Kolom

Pertemuan balok dan kolom merupakan daerah dimana terjadi interaksi tegangan yang sangat tinggi, karena adanya momen berbalik arah pada balok-balok disisinya akibat beban gempa yang cukup besar.

Faktor yang kritis dalam perencanaan pertemuan balok dan kolom adalah pemindahan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen struktur kepada elemen struktur lainnya melalui suatu pertemuan. Bila tidak direncanakan dengan tepat justru di daerah pertemuan ini akan terjadi retak diagonal akibat geser horisontal yang bekerja.

Perhitungan pertemuan balok dan kolom ini direncanakan dengan metode-metode yang sesuai dengan peraturan beton yang berlaku yaitu SKSNI'91 dan buku peraturan penunjang lainnya.

SKSNI'91 menyebutkan bahwa momen lentur, gaya geser kolom, gaya geser horisontal V_{jh} , dan gaya geser vertikal V_{jv} yang melewati inti suatu pertemuan balok kolom harus diperhitungkan terhadap pengaruh gaya-gaya yang membentuk suatu kesetimbangan pada joint yang ditinjau.



Gambar Mekanisme Geser Pada Pertemuan Balok Kolom

Langkah-langkah perhitungan pertemuan balok kolom

1. Hitung gaya geser horisontal yang harus dipikul oleh pertemuan balok kolom.

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \quad \dots\dots\dots (\text{SKSNI 3.14-6})$$

dengan :

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,70 \frac{M_{kep\ ki}}{Z_{ki}}$$

$$T_{ka} = C_{ka} = 0,70 \frac{M_{kep\ ka}}{Z_{ka}}$$

$$V_{kol} = \frac{0,7 \left(\frac{l_{ub\ ki}}{l_{nb\ ki}} M_{kep\ ki} + \frac{l_{ub\ ka}}{l_{nb\ ka}} M_{kep\ ka} \right)}{\frac{1}{2} (h_{ka} + h_{kb})}$$

dimana :

- V_{jh} = gaya geser horisontal yang bekerja pada joint
- As = tulangan atas balok
- As' = tulangan bawah balok
- V_{kol} = gaya geser kolom yang dihitung dengan rumus :
- $l_{ub\ ki,ka}$ = jarak as ke as balok kiri dan kanan joint yang ditinjau
- $l_{nb\ ki,ka}$ = bentang bersih balok kiri dan kanan joint yang ditinjau

- h_{ka} , h_{kb} = jarak as ke as kolom atas dan bawah joint yang ditinjau
- $M_{kap\ ki,ka}$ = momen kapasitas balok kiri dan kanan

$$M_{kap} = 1,25 A_s f_y (d - a/2)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

2. Hitung tegangan geser nominal yang terjadi dalam joint

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_k} \leq 1,5 \sqrt{f_c'} \quad \dots\dots\dots (SKSNI 3.14-8)$$

dimana :

b_j = lebar efektif joint (mm) yang dicari dengan cara sebagai berikut:

♦ bila $b_k > b_b$

$$b_j = b_k$$

$$b_j = b_b + 0,5 h_k$$

dari hasil diatas dipilih yang terkecil

♦ bila $b_k \leq b_b$

$$b_j = b_b$$

$$b_j = b_k + 0,5 h_k$$

dari hasil diatas dipilih yang terkecil

h_k = tinggi total penampang kolom dalam arah geser yang

ditinjau

3. Hitung gaya geser arah horisontal yang mampu dipikul oleh beton

$$V_{ch} = \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0,1 \cdot f_c'} \right) b_j \cdot h_k \quad \dots\dots\dots (SKSNI 3.14-10)$$

4. Rencanakan tulangan geser horisontal pada joint

- bilamana $V_{jh} \leq V_{ch}$ pasang tulangan geser minimum
- bilamana $V_{jh} > V_{ch}$ perlu tulangan geser

$$A_{sh} = \frac{(V_{jh} - V_{ch})}{f_y} \dots\dots\dots (SKSNI 3.14-14)$$

5. Hitung gaya geser vertikal yang terjadi

$$V_{jv} = \left(\frac{h_k}{b_j} \right) \cdot V_{jh} \dots\dots\dots (SKSNI 3.14-8)$$

6. Hitung gaya geser arah vertikal yang mampu dipikul oleh beton

$$V_{cv} = A_{sc}' \frac{V_{jh}}{A_{sc}} \left(0,6 + \frac{P_u}{A_g \cdot f_c'} \right) \dots\dots\dots (SKSNI 3.14-16)$$

dimana :

A_{sc}' dan A_{sc} = luas tulangan longitudinal tarik dan tekan kolom

7. Rencanakan tulangan geser vertikal pada joint

a. bila $V_{jv} \leq V_{cv}$ pasang tulangan geser minimum

b. bila $V_{jh} \geq V_{cv}$ perlu tulangan geser

$$A_{sh} = \frac{(V_{jv} - V_{cv})}{f_y} \dots\dots\dots (SKSNI 3.14-17)$$

Sebagai contoh perhitungan pertemuan balok dan kolom pada kolom

K-8 lantai 1.

- ☐ Ukuran balok induk = 30 x 50 cm
- ☐ Ukuran balok induk = 30 x 60 cm
- ☐ Ukuran Kolom lantai 1 = 50 x 50 cm
- ☐ Mutu Beton (f_c') = 25 MPa
- ☐ Mutu baja = 320 MPa
- ☐ Gaya aksial (P_u) = $1,199 \cdot 10^7$ N
- ☐ Diameter begel = 10 mm

Tinjau Arah X

☐ Hitung momen kapasitas balok dalam tarik

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{2945,2 \cdot 320}{0,85 \cdot 25 \cdot 500}$$

$$= 115,46 \text{ mm}$$

$$M_{kap} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 1,25 \cdot 2945,2 \cdot 320 \cdot \left(537,5 - \frac{115,46}{2} \right)$$

$$= 5,65 \cdot 10^8 \text{ N.mm}$$

☐ Hitung gaya geser yang ditimbulkan oleh balok

Karena jumlah tulangan sisi kiri dan kanan sama maka $C_{ki} = C_{ka} = T_{ki} =$

T_{ka}

$$\begin{aligned} C_{ki} &= 0,7 \frac{M_{kap \text{ ki}}}{Z_M} \\ &= 0,7 \frac{5,65 \cdot 10^8}{\left(537,5 - \frac{115,46}{2} \right)} \\ &= 7,36 \cdot 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

☐ Hitung gaya geser kolom yang bekerja pada joint

$$\begin{aligned} V_{kol} &= \frac{0,7 \left(\frac{I_{ab \text{ ki}}}{I_{nb \text{ ki}}} M_{kap \text{ ki}} + \frac{I_{ab \text{ ka}}}{I_{nb \text{ ka}}} M_{kap \text{ ka}} \right)}{\frac{1}{2} (h_{ka} + h_{kb})} \\ &= \frac{0,7 \left(\frac{9000}{8500} 5,65 \cdot 10^8 \right)}{\frac{1}{2} (3000 + 3000)} \\ &= 1,396 \cdot 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

☐ Gaya geser dan tegangan geser horisontal yang bekerja :

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol}$$

$$= 7,36 \cdot 10^5 + 7,36 \cdot 10^5 - 1,396 \cdot 10^5$$

$$= 13,324 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_k} \leq 1,5 \sqrt{f_{c'}}$$

- mencari lebar efektif joint b_j :

$$b_k > b_b \rightarrow b_j = b_k = 500 \text{ mm}$$

$$b_j = b_b + 0,5 \cdot h_k$$

$$= 300 + 0,5 \cdot 3000 = 1800 \text{ mm}$$

$$v_j/h = \frac{1,3324 \cdot 10^6}{500 \cdot 500} = 2,65 < 1,5 \sqrt{25} = 7,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

Tinjau arah Y

☐ Hitung Momen kapasitas dalam tarik

$$a = \frac{4909 \times 320}{0,85 \times 25 \times 500} = 154 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= 1,25 \cdot 4909 \cdot 320 \cdot \left(787,5 - \frac{154}{2} \right) \\ &= 1,4 \cdot 10^9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

☐ Hitung gaya geser yang ditimbulkan oleh balok

$$C_{ki} = C_{ka} = T_{ki} = T_{ka}$$

$$\begin{aligned} C_{ki} &= 0,7 \frac{1,4 \cdot 10^9}{\left(787,5 - \frac{154}{2} \right)} \\ &= 1,37 \cdot 10^6 \text{ N} \end{aligned}$$

☐ Hitung gaya geser kolom yang bekerja

$$\begin{aligned} V_{kol} &= \frac{0,7 \left(\frac{10400}{9400} 1,4 \cdot 10^9 + \frac{10400}{9400} 1,4 \cdot 10^9 \right)}{\frac{1}{2} (3600 + 3600)} \\ &= 6,27 \cdot 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

☐ Gaya geser dan tegangan geser horizontal yang bekerja :

$$\begin{aligned} V_jh &= 7,36 \cdot 10^5 + 7,36 \cdot 10^5 - 1,396 \cdot 10^5 \\ &= 5,96 \cdot 10^5 \text{ N (lebih berpengaruh daripada } V_jh \text{ arah X)} \end{aligned}$$

$$v_jh = \frac{5,96 \cdot 10^5}{1000 \cdot 1000} = 2,65 < 7,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

☐ Gaya geser yang mampu dipikul beton

$$\begin{aligned} V_{ch} &= \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0,1 \cdot f_c'} \right) b_j \cdot h_k \\ &= \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{3,3856 \cdot 10^6}{500 \cdot 5000} - 0,1 \cdot 25} \right) 500 \cdot 500 \\ &= 4,63 \cdot 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

- ☐ Sisa gaya yang harus dipikul tulangan geser

$$V_{sh} = V_{jh} - V_{ch} = 2,62 \cdot 10^5 - 4,63 \cdot 10^5 = 7 \cdot 10^4 \text{ N}$$

- ☐ Hitung tulangan geser horisontal yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \frac{V_{sh}}{f_y} \\ &= \frac{7 \cdot 10^4}{320} \\ &= 218,75 \text{ mm}^2 \text{ (terlalu kecil pakai tulangan praktis saja)} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\phi 10-100$

- ☐ Hitung gaya geser vertikal yang terjadi

$$\begin{aligned} V_{jv} &= \left(\frac{h_k}{b_j} \right) V_{jh} \\ &= \left(\frac{500}{500} \right) 2,12 \cdot 10^6 \\ &= 2,12 \cdot 10^6 \text{ N} \end{aligned}$$

- ☐ Hitung gaya geser arah vertikal yang mampu dipikul oleh beton

$$V_{cv} = A_{sc} \cdot \frac{V_{jh}}{A_{sc}} \left(0,6 + \frac{P_u}{A_g \cdot f_{c'}} \right)$$

Karena pada perhitungan kolom terdahulu seluruh penampang kolom mengalami keadaan tertekan maka $V_{cv} = 0$

- ☐ Sisa gaya yang dipikul tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{sv} &= V_{jv} - V_{cv} \\ &= 2,12 \cdot 10^6 - 0 = 2,12 \cdot 10^6 \text{ N} \end{aligned}$$

- ☐ Hitung tulangan geser vertikal yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_{sv} &= \frac{V_{sv}}{f_y} \\ &= \frac{2,12 \cdot 10^6}{320} \\ &= 6631 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan tulangan kolom antara (intermediate bars) yaitu 12-D25.

Maka tulangan sisa :

$$\text{Asv} = 6631 - 5892$$

$$= 739 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan praktis $\phi 10-100$

BAB VII

PERENCANAAN PONDASI

7.1. Umum

Dalam perencanaan ini digunakan data tanah yang sesungguhnya di lokasi berdirinya struktur (terlampir). Berdasarkan data tanah tersebut dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah atas sampai kedalaman -15 m relatif lunak.

Karena kondisi letak tanah keras yang cukup dalam dan struktur atas yang tinggi (36 m) yang berakibat memberikan beban yang berat pada pendukung bangunan, maka alternatif yang dipilih sebagai struktur bangunan bawah adalah tiang pancang. Dalam struktur gedung ini dipilih tiang pancang beton pratekan WIKA dengan pertimbangan bahwa :

- ▶ Lokasi bangunan yang terbatas dimana tidak memungkinkan pembuatan tiang pancang di tempat
- ▶ Konsistensi mutu terjamin karena tiang pancang WIKA dibuat di pabrik dengan pengawasan mutu yang merupakan bagian dari proses produksi.
- ▶ Berat tiang pancang beton pratekan hanya 50 - 60 % dari tiang pancang beton biasa dengan kapasitas yang sama.

7.2. Data-data Tanah

Data-data tanah pada perencanaan ini diambil sesuai dengan hasil penyelidikan tanah di lapangan. Dari data yang tersedia hasil penyelidikan tanah dapat diketahui jenis tanah yang ada, nilai SPT, jumlah hambatan pelekot, harga conus (sondir)

7.3. Perencanaan Jumlah Pondasi Tiang Pancang.

Dalam perencanaan jumlah pondasi tiang pancang sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang akan disalurkan ke pondasi dan daya dukung pondasi.

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal yakni daya dukung desak pada ujung tiang dan pengaruh lekatan pada luas permukaan tiang dimana untuk keadaan tanah lempung yang sangat kohesif, pengaruh lekatan lebih dominan daripada pengaruh daya dukung desak ujung tiang.

7.3.1. Daya Dukung Tiang

Daya dukung suatu tiang harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan dan kekuatan dukung tanah tempat tiang ditanam. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang.

7.3.1.1. Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Kekuatan Dukung Tanah

Dari hasil boring (SPT) diperoleh data-data N jumlah pukulan pada setiap kedalaman tertentu, jenis tanah dan sifat tanah pada tiap-tiap kedalaman. Dari data tersebut diperoleh daya dukung tanah dengan mempergunakan rumus dari *Mayerhof* :

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 40.N.A_p + \frac{\pi.D.\sum N_i . L_i}{k} \end{aligned}$$

dimana :

Q_u = daya dukung ultimate tiang pancang (ton)

Q_p = daya dukung desak pada ujung tiang

Q_s = daya dukung lekatan pada sepanjang selimut tiang

N = harga rata-rata SPT pada ujung tiang diambil 8D upper,
4D lower

A_p = luas penampang ujung tiang (m^2)

D = diameter tiang pancang (m)

N_i = harga SPT tiap-tiap kedalaman i (nilai i mulai $i = 0$
sampai $i = L$)

L_i = kedalaman yang diwakili masing-masing nilai N_i (m)

L = kedalaman tiang pancang yang ditinjau (m)

k = konstanta untuk jenis tanah

- pasir = 5

- lempung = 2

► koreksi nilai N_i :

$$N_{i \text{ koreksi}} = \frac{4 \cdot N_i}{1 + 0,4 \cdot P_o} \leq 2 \quad \text{untuk } P_o \leq 7,5 \text{ t/m}^2$$

$$N_{i \text{ koreksi}} = \frac{4 \cdot N_i}{1 + 0,1 \cdot P_o} \leq 2 \quad \text{untuk } P_o > 7,5 \text{ t/m}^2$$

dimana :

$$P_o = \sum (\gamma_{\text{sat } i} - 1) \cdot L_i \quad (\text{t/m}^2)$$

$\gamma_{\text{sat } i}$ = berat jenis tanah jenuh air tiap-tiap kedalaman (t/m^3)

► koreksi nilai N akibat air tanah

harga N dibawah muka air tanah harus dikoreksi berdasarkan perumusan sebagai berikut (TERZAGHI & PACK) :

$$N_i = 15 + 0,5 (N'_i - 15)$$

dimana :

- D = lebar / diameter tiang (m)
- m = jumlah baris
- n = jumlah tiang dalam satu baris

Apabila jarak antara as ke as tiang pancang dalam suatu kelompok lebih besar dari jarak diatas, maka efisiensi = 1, tetapi apabila diambil kurang dari jarak diatas, maka faktor efisiensi tiang kelompok harus dihitung dengan rumus

$$Eff = 1 - \phi \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

dimana :

- ϕ = $\arctg (D/S)$ dalam derajat
- S = spasi antar tiang
- m = jumlah baris
- n = jumlah tiang dalam satu baris

Sehingga :

$$P_{ult \text{ 1 tiang dalam kelompok}} = Eff \times P_{u \text{ 1 tiang bebas}}$$

Semua persamaan tentang efisiensi tiang pancang dalam kelompok berlaku untuk keadaan tiang pancang gesekan. Apabila dipergunakan tiang pancang dengan daya dukung kekuatan ujung (end-bearing pile) tidak perlu dilakukan efisiensi tiang pancang dalam kelompok. Tetapi disarankan jarak spasi antar tiang minimal $2D$ sampai $3D$ dimana D adalah diameter tiang.

dimana :

N_i' = jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk dibawah muka air tanah

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF}$$

dimana :

Q_a = daya dukung tiang pancang yang diijinkan

SF = faktor keamanan (3 - 5)

7.3.1.2. Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Kekuatan Bahan

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang produksi WIKA dengan spesifikasi bahan seperti pada brosur yang dikeluarkan oleh WIKA (terlampir).

7.3.2. Daya Dukung Satu Tiang Dalam Kelompok

Daya dukung satu tiang dalam kelompok didapat dari daya dukung satu tiang yang berdiri sendiri dikalikan dengan suatu faktor efisiensi (Eff) yang dihitung dengan rumus :

$$P_{ult} = P_u \text{ 1 tiang berdiri sendiri } \times Eff$$

Agar efisiensi tiang tidak kurang dari 1, maka menurut Bowles dalam **Foundation Analysis and Design** , jarak minimum dari as ke as pondasi tiang pancang kelompok adalah :

$$S \geq \frac{1,57 \cdot D \cdot m \cdot n - 2D}{m + n - 2} \quad (\text{persamaan Converse - Labarre})$$

7.3.3. Beban Maksimum Tiang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok tiang dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada tiang.

Rumus yang digunakan :

$$P_{\max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum Y^2} \leq P_{\text{ult}}$$

dimana :

P_{ult} = daya dukung ijin 1 tiang dalam kelompok

P_{\max} = beban maximum yang diterima 1 tiang pancang

$\sum P_u$ = Jumlah total beban aksial yang bekerja pada tiang

M_x = momen yang terjadi pada arah x

M_y = momen yang terjadi pada arah y

n = banyaknya tiang dalam kelompok tiang

X_{\max} = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

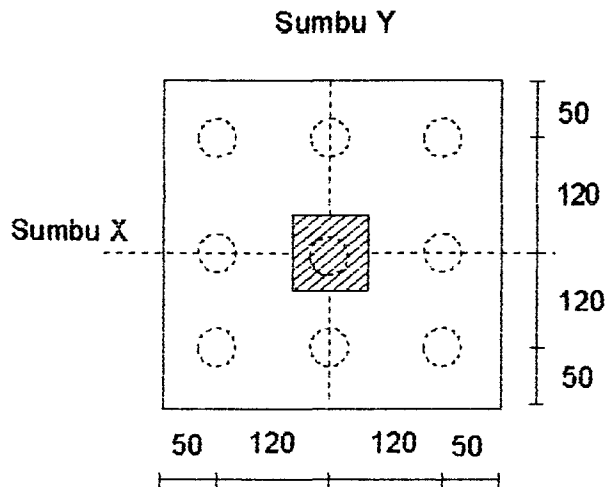
Y_{\max} = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum X^2$ = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang

$\sum Y^2$ = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang

Contoh perhitungan :

Perencanaan pondasi tiang pancang pada P-5, dengan data-data sbb:



Gambar 7.1.Denah Pondasi Pada Poer P-5

Beban dari 1 kolom :

- $P_u = 532,35 \text{ t}$
- $M_y = 67,34 \text{ tm}$
- $M_x = 15,33 \text{ tm}$
- $H_{ux_{maks}} = 8,74 \text{ t}$
- $H_{uy_{maks}} = 25,97 \text{ t}$

Direncanakan 9 buah tiang yang masing-masing berdiameter 40 cm dengan pile cap berukuran 340 x 340 x 80 cm (BV beton = 2,4 t/m³)

□ Daya dukung tiang pancang tunggal

Tiang pancang yang direncanakan ϕ 60 cm. Karena ujung tiang berada

PPUBBSTBG'83 menyebutkan bahwa tiang pancang dapat dibedakan antara tiang pendek dan tiang panjang. Tiang disebut tiang panjang jika panjang tiang yang ada lebih dari 12 m atau lebih dari panjang penunjang, yaitu panjang yang diperlukan oleh tiang untuk menyalurkan momen luar M dan beban horisontal H akibat beban kerja dari atas tiang ke tanah sekelilingnya tanpa melampaui tegangan lateral yang diijinkan.

Panjang penunjang L dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai

berikut:

$$L = 1,44 \left(3 \sqrt{\frac{M_o}{R}} \right) \quad (\text{ untuk tiang persegi })$$

atau dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada gambar 8 - 2 (khusus untuk tiang pendek) buku **Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Blasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983**, dimana

L = panjang penunjang tiang

M_o = momen luar pada ujung tiang dalam kg m/m

R = tegangan tanah lateral yang diijinkan

Karena rencana pemancangan tiang sampai kedalaman 14 m (>12 m), maka tiang adalah tiang panjang sehingga metode perhitungannya mengikuti pasal B.4. Buku **Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Blasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983**.

pada lapisan tanah lunak pada kedalaman 14 m maka daya dukung dari gesekan tanah yang diperhitungkan.

Gaya normal tambahan yang berkerja pada pile cap :

$$\begin{aligned}
 - \text{beban poer} &= 3,4 \times 3,4 \times 0,8 \times 2,4 &= 22,19 \text{ ton} \\
 - \text{beban bangunan} &&= \underline{532,35 \text{ ton}} + \\
 &&P_u = 554,54 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

□ Beban P maksimum 1 tiang pancang :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{maks}} &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\text{maks}}}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\text{maks}}}{\sum y^2} \\
 P_{\text{maks}} &= \frac{554,54}{9} + \frac{15,33 \times 1,2}{8,64} + \frac{67,34 \times 1,2}{8,64} \\
 &= 73,09 \text{ ton} < P_{\text{ult}} \cdot \text{eff} = 109,27 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

7.3.4. Pengaruh Gaya Lateral Pada Tiang Pancang

Tiang pancang harus mampu menerima gaya tekan aksial dan momen akibat gaya horisontal dengan cara mengubah gaya horisontal menjadi momen tambahan yang bekerja pada tiang pancang . Momen yang terjadi akibat gaya horisontal ini harus dicek terhadap kekuatan bending dari tiang pancang yang digunakan.

Untuk mendapatkan momen akibat gaya horisontal ini, dapat digunakan rumus-rumus yang terdapat pada buku **Pedoman Perencanaan Untuk Beton Bertulang dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung tahun 1983** pada lampiran B.

☐ **Langkah - langkah perhitungan momen akibat gaya lateral**

1. Pilih H_o dari gaya lateral terbesar antara H_{ux} dan H_{uy} sebagai gaya lateral H_o
2. Hitung nilai K_y dengan rumus :

$$K_y = \frac{H_o}{C_r \cdot D}$$

dimana :

- H_o = gaya lateral rencana per diameter tiang (kg/m)
 - C_r = kekuatan kohesi rencana (kg/m^2)
 $= 0,5 C_u$
 - C_u = kekuatan kohesi tanah
 - D = diameter tiang yang digunakan (m)
3. Dengan grafik B-3 PPUBBSTBG'83, dari harga K_y didapatkan harga K_x
 4. Hitung momen pada tiang akibat gaya lateral dengan rumus :

$$M_{uo} = K_x \cdot C_r \cdot D^2 \leq M_{ult \text{ tiang}}$$

Contoh perhitungan

Perencanaan akibat gaya lateral pada poer P-K8 dengan data-data pada lampiran.

- ☐ Kekuatan tiang pancang WIKA type 600 A1 (brosur terlampir)

$$P_{ult} = 235,40 \text{ ton}$$

- Beban horisontal rencana pondasi tiap tiang

$$\begin{aligned} H_o &= \frac{25,92}{(3,75 \times 0,6)} \\ &= 11,52 \text{ ton/m} \\ &= 11520 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Hitung harga K_y

$$K_y = \frac{H_o}{C_r \cdot D} = \frac{11520}{2352,14 \times 0,6} = 8,16$$

dimana :

$$C_r = 0,5 \times C_u = 0,5 \times 4704,3 = 2352,14 \text{ kg/m}^2$$

- Tentukan harga K_x

Dari grafik B-3 untuk nilai $e/D = 0$ dan $K_x = 8,16$ diperoleh

$$\begin{aligned} M_{uo} &= K_x \cdot C_r \cdot D^2 \\ &= 8 \cdot 2352,15 \cdot 0,6^2 \\ &= 6774,192 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Dari diagram hubungan momen lentur dan gaya normal tiang pancang WIKA diketahui bahwa apabila momen yang terjadi pada tiang pancang < 7500 Kg.m tidak akan mempengaruhi daya dukung bahan tiang pancang. Sehingga tiang pancang dianggap cukup kuat.

7.4. PERENCANAAN POER (PILE CAP)

Poer direncanakan terhadap gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur.

7.4.1. Perhitungan Geser Pons pada Poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus dipenuhi syarat bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

Contoh perhitungan Geser Pons

Sebagai contoh perhitungan geser pons pada poer diambil poer P-5

- Beban Pu = 319,36 - (2 x 91,58) = 136,2 ton
- Mutu beton (f_c') = 25 MPa
- ϕ tulangan utama = D.25 ; f_y = 320 MPa
- Tebal poer (h) = 0,8 m ; d_c = 100 mm
- Tinggi eff (d) = 800 - 100 - 0,5 x 25 = 662,5 mm

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

tetapi tidak boleh lebih dari :

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad \text{atau} \quad \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \leq 2$$

dimana :

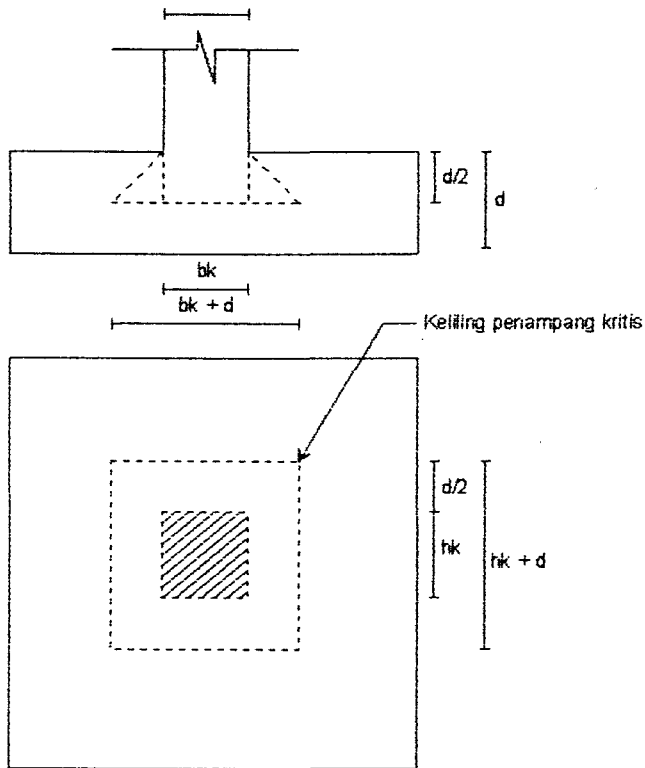
- ϕ = 0,6
- β_c = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom
= 1 (kolom bujur sangkar)

$$\left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) = 3 > 2 \rightarrow \text{dipakai batas } \phi V_c$$

- b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$= 2 (b_k + h_k + 2d)$$

$$= 2 (500 + 662,5) + 2 (500 + 662,5) = 4650 \text{ mm}$$



Gambar 7.2. Daerah Kritis Terhadap Geser Pons

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,6 \cdot \frac{1}{3} \sqrt{25} \cdot 4650 \cdot 662,5$$

$$= 3080600 \text{ N}$$

$$= 308,06 \text{ ton}$$

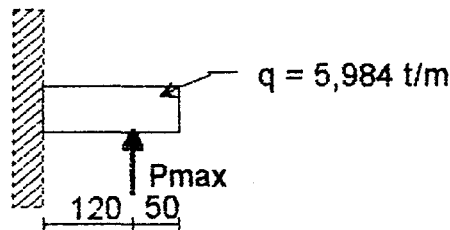
Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser pons

7.4.2. Penulangan Lentur Poer

Untuk perhitungan penulangan lentur poer P-5, pada penulangan lentur poer dianalisa balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom.

Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu biasa.

Contoh perhitungan Penulangan Lentur Poer P-5



Gambar 7.3. Idealisasi Poer P-5

$$P_{max} = 73,09 \text{ ton}$$

$$q = 0,8 \times 1,7 \times 4,4 = 5,984 \text{ t/m}$$

Momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M_u &= (3 \times P_{max}) \times 0,6 - 1/2 \times 5,984 \times 1,7^2 \\ &= (3 \times 73,09) \times 0,6 - 1/2 \times 5,984 \times 1,7^2 \\ &= 122,92 \text{ t.m} = 1,2292 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

□ Penulangan arah X

$$d = 800 - 100 - 0,5 \cdot 25 = 687,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{122,92 \cdot 10^7}{0,8 \cdot 3400 \cdot 687,5^2} = 0,956 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{320}{0,85 \times 25} = 15,06$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,06} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,06 \cdot 0,956}{320}} \right] \\ &= 0,0031 < \rho_{\min} = 0,004375 \end{aligned}$$

$$A_s = 0,004375 \cdot 340 \cdot 68,75 = 102,38 \text{ cm}^2$$

Dipakai Tulangan 21D25 ($A_s = 103,08 \text{ cm}^2$)

$$\text{Jarak pemasangan} = \frac{340 - (2 \times 10)}{21} = 15 \text{ cm}$$

dipakai jarak pemasangan tulangan = 15 cm.

□ Penulangan arah Y

$$d = 800 - 100 - 0,5 \cdot 25 = 687,0 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1,2292 \cdot 10^9}{0,8 \cdot 3400 \cdot 687,5^2} = 0,956 \text{ MPa}$$

$$m = 15,06$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,06} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,06 \cdot 0,9566}{320}} \right] \\ &= 0,0031 < \rho_{\min} = 0,004375 \end{aligned}$$

$$A_s = 0,004375 \cdot 340 \cdot 687,5 = 102,38 \text{ cm}^2$$

Dipakai Tulangan 21D25 ($A_s = 103,8 \text{ cm}^2$)

7.4.3. Kontrol Geser Pada Penampang Kritis

Apabila geser yang terjadi lebih besar dari geser nominal beton, maka dibutuhkan tulangan geser yang diambil dari bengkokan tulangan utama bawah ke atas dan membengkokkan tulangan utama atas ke bawah.

Contoh Perhitungan Geser Poer P-5

$$V_u = 2 \times P_{\max} - q \times L$$

$$= 2 \times 73,09 - 5,984 \times 1,7$$

$$= 136,01 \text{ ton}$$

$$= 1360100 \text{ N}$$

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,6 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 3400 \cdot 687,5$$

$$= 1168750 \text{ N}$$

Spasi maksimum tulangan geser :

$$S_{\text{perlu}} = \frac{\phi \cdot A_v \cdot f_y \cdot d}{V_u - \phi V_c}$$
$$= \frac{0,6 \cdot (981,75) \cdot 320 \cdot 687,5}{1360100 - 1168750}$$

$$= 104,24 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ada}} = \frac{B_{\text{poer}} - 2x\alpha''}{n_{\text{tul. utama}} - 1}$$
$$= \frac{340 - 2 \times 15}{21 - 1}$$

$$= 15,5 \text{ cm} > 10,4 \text{ cm}$$

7.5. Perencanaan Sloof (Tie Beam)

Sloof atau tie beam menerima beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti halnya penulangan pada kolom.

Pada perencanaan sloof ini, penulis mengambil ukuran sloof berdasarkan gaya normal kolom terbesar $P_u = 532,35$ ton. Sloof direncanakan berukuran 40 x 70 cm.

Chek terhadap tegangan tarik lln beton (f_{ct}) :

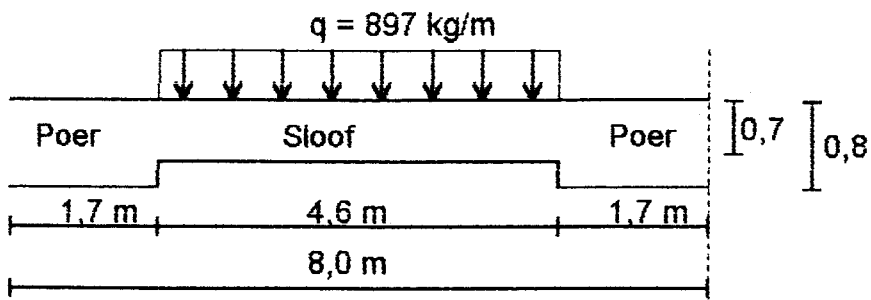
$$\begin{aligned} f_{ct} = f_r &= 0,7 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (\text{PB'89 Pasal 9.5.2.3}) \\ &= 0,7 \times \sqrt{25} \\ &= 3,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_r \text{ yang terjadi} &= \frac{N_u}{\phi \cdot b \cdot h} \\ &= \frac{0,1 \cdot 532,35}{0,8 \cdot 400 \cdot 700} \\ &= 2,79 \text{ MPa} \leq f_{ct} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

7.5.1 Penulangan Lentur Sloof

Penulangan lentur sloof didasarkan pada kedua kondisi pembebanan :

- Berat aksial N_u = 532,35 ton x 10% = 532350 N
- Berat sendiri sloof = 2400 . 0,4 . 0,7 = 672 Kg/m
- Berat Tembok = 250 x 0,9 = 225 kg/m
- q_u = 672 + 225 = 897 Kg/m = 8970 N/m



Gambar 7.4. Pembebanan pada sloof

maka momen tumpuan menerus :

$$M_u = \frac{1}{12} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{12} \cdot 8970 \cdot 4,6^2 = 15817,1 \text{ Kg.m}$$

$$k = \frac{\phi \cdot P_n}{f_c' \cdot A_g} = \frac{5323500}{400 \cdot 700} = 0,76$$

$$k_{eh} = \frac{\phi \cdot M_n}{f_c' \cdot A_g \cdot h} = \frac{673400000}{400 \cdot 700 \cdot 700} = 0,14$$

$$\text{didapat } \rho < \rho_{\min} \rightarrow \rho = 1\%$$

$$\text{Luas tulangan perlu} = 0,01 \cdot 400 \cdot 700 = 2800 \text{ mm}^2$$

$$\text{dipasang tulangan } 6D25 \text{ (} A_s = 2945,2 \text{ mm}^2 \text{)}$$

7.5.2. Penulangan Geser Sloof

Besarnya gaya geser pada sloof :

$$- q_u = 897 \text{ kg/m}$$

$$- V_u = \frac{1}{2} \times 8970 \times 4,6$$

$$= 20631 \text{ N}$$

$$- d = 700 - 50 - 10 - 25/2$$

$$= 625,5 \text{ mm}$$

Kuat geser nominal yang mampu dipikul beton :

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\&= 0,6 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 400 \cdot 625,5 \times \left[1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag} \right] \\&= 0,6 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 400 \cdot 625,5 \times \left[1 + \frac{305000}{14 \cdot 400 \cdot 700} \right] \\&= 135839,45 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u = 20631 \text{ N} < \phi V_c = 135839,45 \text{ N}$$

Tidak perlu tulangan geser, hanya dipasang praktis saja.

Jadi pasang tulangan geser praktis $\phi 10 - 200 \text{ mm}$.

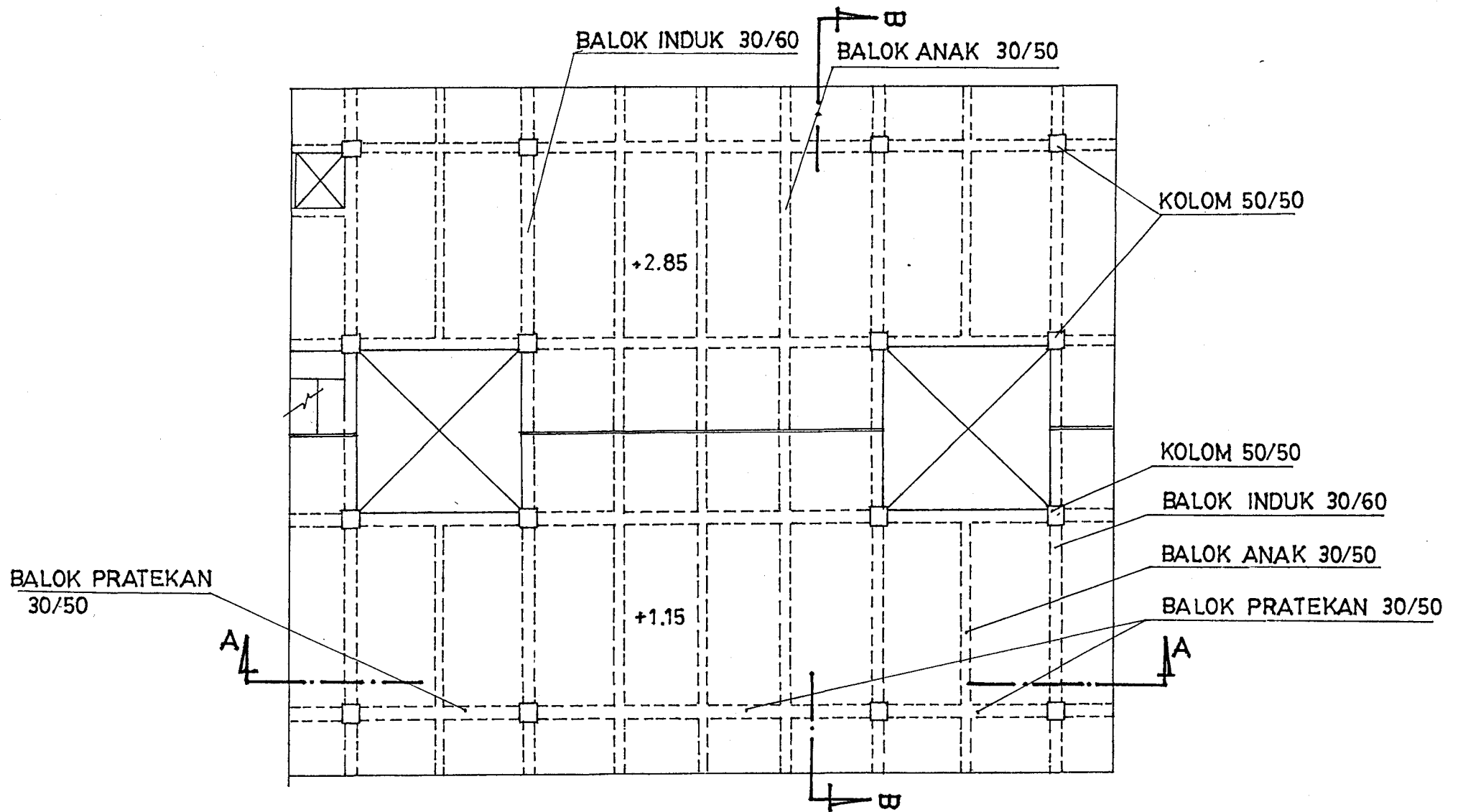
KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan pada tugas akhir dengan judul **Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Parkir Mal Metropolitan Bekasi dengan Sistem Balok Pratekan** ini dapat disimpulkan :

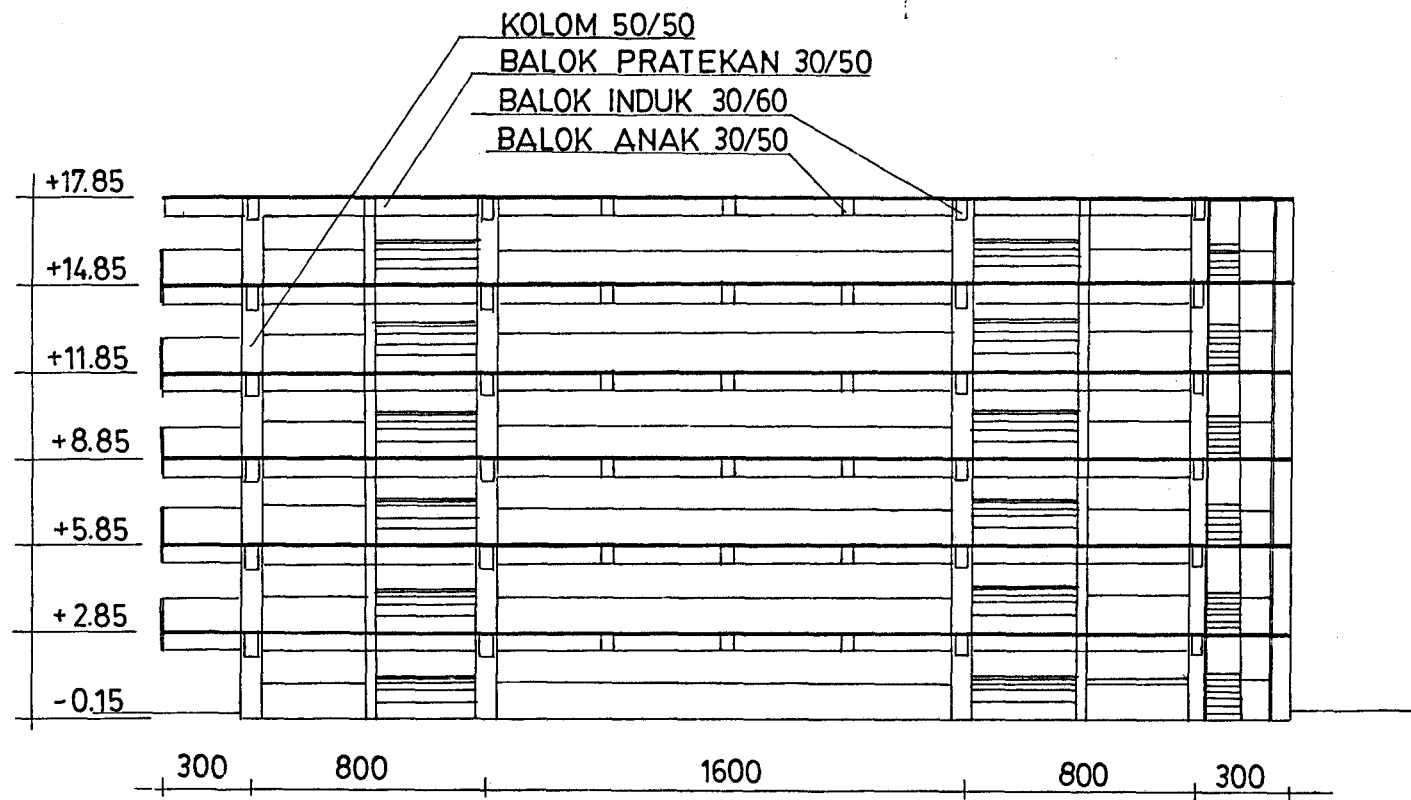
1. Dengan menggunakan sistem balok beton pratekan pada gedung parkir Mal Metropolitan Bekasi diperoleh dimensi balok yang lebih kecil daripada menggunakan balok beton bertulang biasa, yang semula berukuran 90 x 40 cm menjadi 50 x 30 cm dengan syarat keamanan struktur sudah memenuhi peraturan yang berlaku.
2. Dengan balok yang lebih kecil tersebut maka tinggi antar lantai dapat diperpendek sesuai dengan ketinggian minimum yang diperlukan untuk parkir kendaraan, dalam perencanaan ini adalah kendaraan pribadi, sehingga dengan jumlah lantai yang sama dari tinggi semula 21 meter dapat diperpendek, menjadi 17,85 meter dengan tinggi antar lantai adalah 3 meter.
3. Pada perencanaan balok menerus sepanjang 38 meter ini pengaruh kehilangan pratekan adalah sangat menentukan, terutama kehilangan pratekan akibat wobble effect dan kelengkungan tendon karena tendon yang sangat panjang serta akibat pengaruh creep, shrinkage, dan relaksasi tendon.
4. Perencanaan konstruksi pratekan menerus adalah relatif sulit dibandingkan dengan perencanaan struktur sederhana, tetapi dengan menggunakan metode perimbangan beban (load balancing method) memberi kemudahan dalam perhitungan dan penggambaran, karena setelah beban akibat berat sendiri diimbangi dengan gaya pratekan, maka kita tinggal menganalisa gaya yang bekerja akibat beban luar yang bekerja pada konstruksi tersebut.
5. Pada penarikan tendon yang dilakukan setelah seluruh frame/struktur selesai dibangun reaksi penahan yang terbesar terjadi di daerah dekat dasar struktur (daerah bawah), sedangkan untuk struktur yang pembangunan struktur dan penarikan tendonnya dilakukan perantai reaksi penahan yang terbesar terjadi pada daerah dekat atap (daerah atas).

SARAN

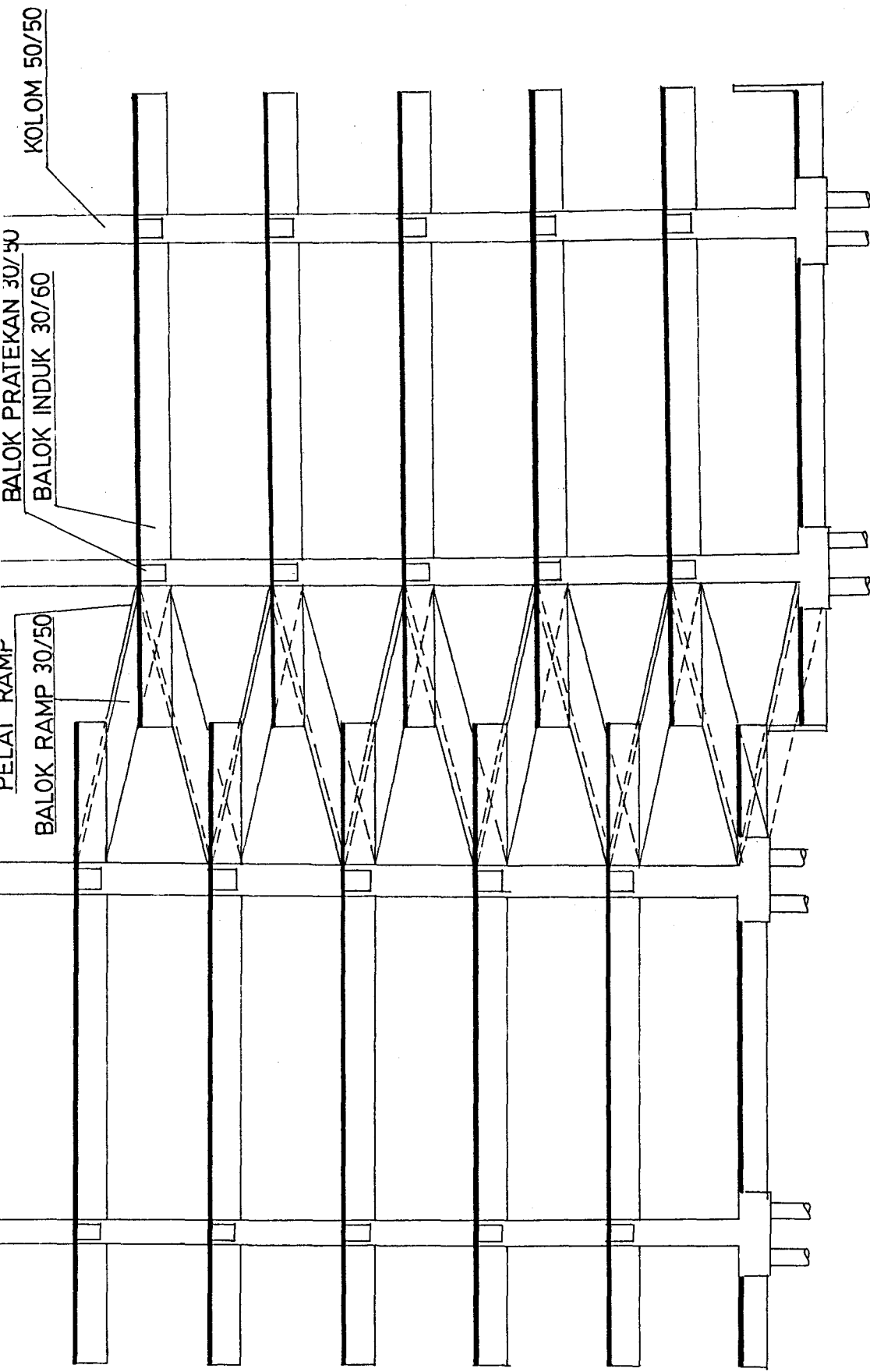
1. Pada perencanaan gedung parkir Mal Metropolitan Bekasi ini penulis menggunakan dua metode untuk mencari gaya yang bekerja pada struktur, yaitu metode distribusi momen pada perhitungan momen akibat gaya pratekan dan analisa struktur SAP 90 untuk mencari gaya yang bekerja pada struktur akibat beban luar. Hal ini dapat mempengaruhi ketelitian perhitungan struktur karena pada metode momen distribusi analisanya adalah analisa bidang (2 D), sedangkan pada SAP 90 adalah analisa ruang (3 D). Jadi sebaiknya pada saat perencanaan, setelah gaya pratekan dirubah menjadi beban merata, beban-beban ini ditambahkan pada beban yang diakibatkan oleh beban luar untuk kemudian dianalisa dengan program SAP 90, sehingga gaya-gaya yang bekerja pada struktur dapat dianalisa dengan lebih teliti (analisa ruang/3 D).
2. Penentuan damping ratio untuk analisa struktur akibat gempa harus diperhatikan karena pada struktur ini terdapat dua bahan yang berbeda, yaitu untuk balok memanjang menggunakan beton pratekan dan balok melintang memakai beton bertulang biasa yang tentunya besar damping ratio untuk beton pratekan seharusnya lebih kecil daripada beton bertulang biasa, agar dapat diperoleh hasil analisa gaya-gaya yang bekerja pada struktur dapat dianalisa dengan lebih teliti..



DENAH PEMBALOKAN
DAN KOLOM



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B

ANALISA TANGGA GEDUNG PARKIR METROPOLITAN MALL BEKASI
SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0	Y=3	Z=2.9	
4	X=0	Y=1.5	Z=2.9	
13	X=2.5	Y=3	Z=1.45	
16	X=2.5	Y=1.5	Z=1.45	Q=1, 4, 13, 16, 1, 4
17	X=3.0	Y=3	Z=1.45	
20	X=3.0	Y=1.5	Z=1.45	
25	X=4.0	Y=3	Z=1.45	
28	X=4.0	Y=1.5	Z=1.45	Q=17, 20, 25, 28, 1, 4
29	X=0	Y=1.5	Z=0	
32	X=0	Y=0	Z=0	
37	X=1.667	Y=1.5	Z=1.0	
40	X=1.667	Y=0	Z=1.0	Q=29, 32, 37, 40, 1, 4
42	X=2.5	Y=1.0	Z=1.45	
44	X=2.5	Y=0	Z=1.45	
54	X=4.0	Y=1.0	Z=1.45	
56	X=4.0	Y=0	Z=1.45	Q=42, 44, 54, 56, 1, 4

RESTRAINTS

1, 56, 1 R=0, 0, 0, 0, 0, 0
1 4 1 R=1, 1, 1, 1, 1, 1
29 32 1 R=1, 1, 1, 1, 1, 1

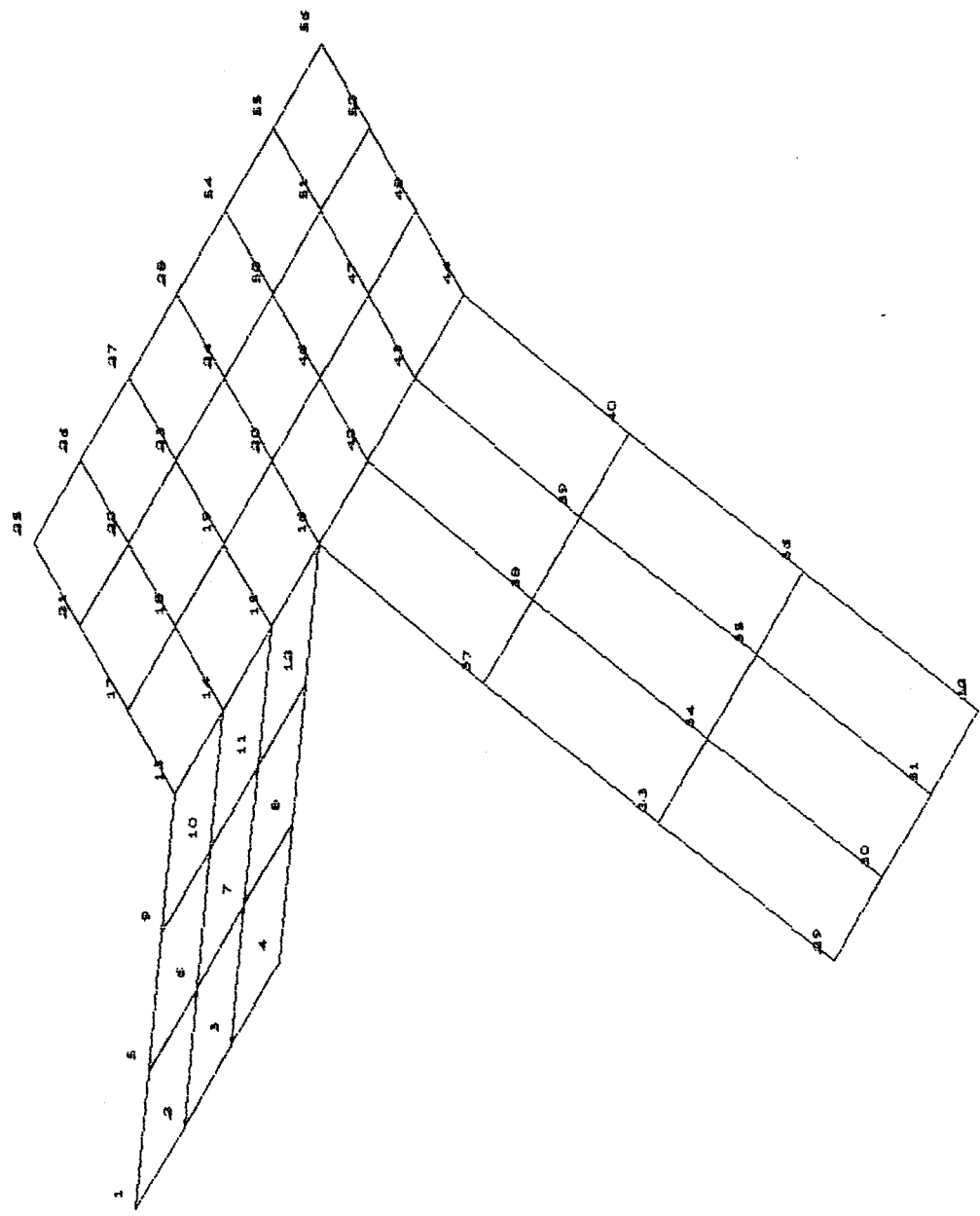
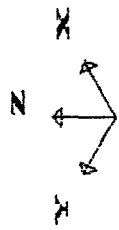
SHELL

NM=1 P=-1 Z=-1

1	E=2.57E9	W=2400	U=0.12
1	JQ=1, 2, 5, 6	M=1	ETYPE=0 TH=0.12 G=3, 3
10	JQ=13, 14, 17, 18	M=1	ETYPE=0 TH=0.12 G=3, 3
19	JQ=29, 30, 33, 34	M=1	ETYPE=0 TH=0.12 G=3, 2
25	JQ=37, 38, 16, 42	M=1	ETYPE=0 TH=0.12
26	JQ=38, 39, 42, 43	M=1	ETYPE=0 TH=0.12 G=2, 1
29	JQ=42, 43, 46, 47	M=1	ETYPE=0 TH=0.12 G=2, 3
35	JQ=16, 42, 20, 46	M=1	ETYPE=0 TH=0.12 G=1, 3

POTENSIAL

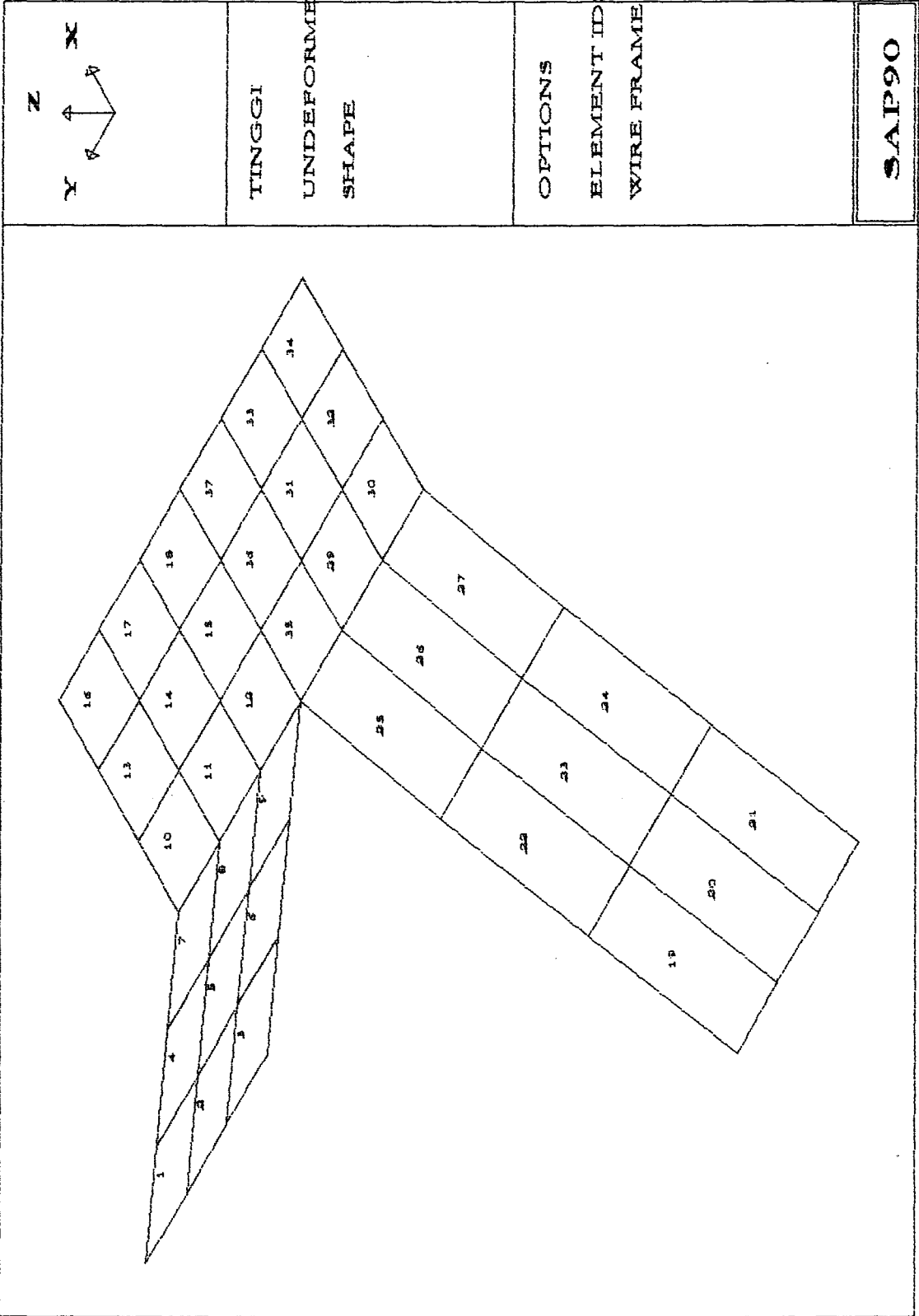
1 16 1 P=826.88, 826.88
29 40 1 P=826.88, 826.88
42 44 1 P=826.88, 826.88
17 28 1 P=774.00, 774.00
16 42 28 P=826.88, 826.88
46 48 1 P=774.00, 774.00
50 52 1 P=774.00, 774.00
54 56 1 P=774.00, 774.00



TINGGI
UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS
JOINT IDS
WIRE FRAME

SAP90



SAP90

LANTAI 1-6 GEDUNG PARKIR METROPOLITAN MALL BEKASI (0.00 PADA JOINT 201-234)

C FILE NAME : PARKIR1 SATUAN : Ton-Meter

SYSTEM

L=2 V=5

JOINTS

1	X=19.00	Y=7.35	Z=-1.50	
11	X=19.00	Y=7.35	Z=1.50	
12	X=19.50	Y=24.73	Z=3.00	
51	X=19.00	Y=7.35	Z=13.50	G=11,51,10
52	X=19.50	Y=24.73	Z=15.00	G=12,52,10
70	X=19.25	Y=15.73	Z=18.00	
106	X=3	Y=3	Z=-1.5	
107	X=7	Y=3	Z=-1.5	
108	X=11	Y=3	Z=-1.5	
112	X=27	Y=3	Z=-1.5	
114	X=35	Y=3	Z=-1.5	
126	X=3	Y=12	Z=-1.5	
128	X=11	Y=12	Z=-1.5	G=126,128,1
132	X=27	Y=12	Z=-1.5	
134	X=35	Y=12	Z=-1.5	G=132,134,1
206	X=3	Y=20	Z=0.0	
208	X=11	Y=20	Z=0.0	G=206,208,1
212	X=27	Y=20	Z=0.0	
214	X=35	Y=20	Z=0.0	G=212,214,1
226	X=3	Y=29	Z=0.0	
228	X=11	Y=29	Z=0.0	
232	X=27	Y=29	Z=0.0	
234	X=35	Y=29	Z=0.0	
1101	X=3	Y=0	Z=1.5	
1102	X=11	Y=0	Z=1.5	
1103	X=27	Y=0	Z=1.5	
1104	X=35	Y=0	Z=1.5	
1105	X=0	Y=3	Z=1.5	
1106	X=3	Y=3	Z=1.5	
1108	X=11	Y=3	Z=1.5	
1112	X=27	Y=3	Z=1.5	
1114	X=35	Y=3	Z=1.5	
1115	X=38	Y=3	Z=1.5	
1121	X=3	Y=16	Z=1.5	
1122	X=11	Y=16	Z=1.5	
1123	X=27	Y=16	Z=1.5	
1124	X=35	Y=16	Z=1.5	
1125	X=0	Y=12	Z=1.5	
1126	X=3	Y=12	Z=1.5	
1127	X=7	Y=12	Z=1.5	
1128	X=11	Y=12	Z=1.5	
1132	X=27	Y=12	Z=1.5	
1133	X=31	Y=12	Z=1.5	
1134	X=35	Y=12	Z=1.5	
1135	X=38	Y=12	Z=1.5	
1201	X=3	Y=16	Z=3.0	
1202	X=11	Y=16	Z=3.0	
1203	X=27	Y=16	Z=3.0	
1204	X=35	Y=16	Z=3.0	
1205	X=0	Y=20	Z=3.0	
1206	X=3	Y=20	Z=3.0	
1208	X=11	Y=20	Z=3.0	
1212	X=27	Y=20	Z=3.0	
1214	X=35	Y=20	Z=3.0	
1215	X=38	Y=20	Z=3.0	
1221	X=3	Y=32	Z=3.0	
1222	X=11	Y=32	Z=3.0	
1223	X=27	Y=32	Z=3.0	
1224	X=35	Y=32	Z=3.0	
1225	X=0	Y=29	Z=3.0	
1226	X=3	Y=29	Z=3.0	
1228	X=11	Y=29	Z=3.0	
1232	X=27	Y=29	Z=3.0	
1234	X=35	Y=29	Z=3.0	
1235	X=38	Y=29	Z=3.0	
5101	X=3	Y=0	Z=13.5	
5102	X=11	Y=0	Z=13.5	
5103	X=27	Y=0	Z=13.5	

5104	X=35	Y=0	Z=13.5	
5105	X=0	Y=3	Z=13.5	
5106	X=3	Y=3	Z=13.5	G=1106,5106,1000
5108	X=11	Y=3	Z=13.5	G=1108,5108,1000
5112	X=27	Y=3	Z=13.5	G=1112,5112,1000
5114	X=35	Y=3	Z=13.5	G=1114,5114,1000
5115	X=38	Y=3	Z=13.5	Q=1105,1115,5105,5115,10,1000
5121	X=3	Y=16	Z=13.5	Q=1101,1121,5101,5121,20,1000
5122	X=11	Y=16	Z=13.5	Q=1102,1122,5102,5122,20,1000
5123	X=27	Y=16	Z=13.5	Q=1103,1123,5103,5123,20,1000
5124	X=35	Y=16	Z=13.5	Q=1104,1124,5104,5124,20,1000
5125	X=0	Y=12	Z=13.5	
5126	X=3	Y=12	Z=13.5	G=1126,5126,1000
5127	X=7	Y=12	Z=13.5	G=1127,5127,1000
5128	X=11	Y=12	Z=13.5	G=1128,5128,1000
5132	X=27	Y=12	Z=13.5	G=1132,5132,1000
5133	X=31	Y=12	Z=13.5	G=1133,5133,1000
5134	X=35	Y=12	Z=13.5	G=1134,5134,1000
5135	X=38	Y=12	Z=13.5	Q=1125,1135,5125,5135,10,1000
5201	X=3	Y=16	Z=15.0	
5202	X=11	Y=16	Z=15.0	
5203	X=27	Y=16	Z=15.0	
5204	X=35	Y=16	Z=15.0	
5221	X=3	Y=32	Z=15.0	Q=1201,1221,5201,5221,20,1000
5222	X=11	Y=32	Z=15.0	Q=1202,1222,5202,5222,20,1000
5223	X=27	Y=32	Z=15.0	Q=1203,1223,5203,5223,20,1000
5224	X=35	Y=32	Z=15.0	Q=1204,1224,5204,5224,20,1000
6101	X=3	Y=0	Z=18.0	
6102	X=11	Y=0	Z=18.0	
6103	X=27	Y=0	Z=18.0	
6104	X=35	Y=0	Z=18.0	
6105	X=0	Y=3	Z=18.0	
6106	X=3	Y=3	Z=18.0	:
6114	X=35	Y=3	Z=18.0	:
6115	X=38	Y=3	Z=18.0	
6125	X=0	Y=12	Z=18.0	
6126	X=3	Y=12	Z=18.0	:
6134	X=35	Y=12	Z=18.0	Q=6106,6114,6126,6134,1,20
6135	X=38	Y=12	Z=18.0	
6201	X=3	Y=32	Z=18.0	
6204	X=35	Y=32	Z=18.0	
6202	X=11	Y=32	Z=18.0	
6203	X=27	Y=32	Z=18.0	
6205	Y=0	Y=20	Z=18.0	
6206	X=3	Y=20	Z=18.0	
6214	X=35	Y=20	Z=18.0	Q=1206,1214,6206,6214,1,1000
6215	X=38	Y=20	Z=18.0	Q=1205,1215,6205,6215,10,1000
6225	X=0	Y=29	Z=18.0	
6226	X=3	Y=29	Z=18.0	
6234	X=35	Y=29	Z=18.0	Q=1226,1234,6226,6234,1,1000
6235	X=38	Y=29	Z=18.0	Q=1225,1235,6225,6235,10,1000

RESTRRAINTS

1 1 0	R=1,1,1,1,1,1
11 51 10	R=0,0,1,1,1,0
12 52 10	R=0,0,1,1,1,0
70 70 0	R=0,0,1,1,1,0
106 134 1	R=1,1,1,1,1,1
206 234 1	R=1,1,1,1,1,1
1101 5135 1	R=1,1,0,0,0,1
1201 5235 1	R=1,1,0,0,0,1
6101 6135 1	R=1,1,0,0,0,1
6201 6235 1	R=1,1,0,0,0,1

MASSES

11 51 10	M=27.955,27.955,0,0,0,3960.306
12 52 10	M=27.184,27.184,0,0,0,3851.020
70 70 0	M=59.841,59.841,0,0,0,12307.261

FRAME

NM=5	NL=70	Z=-1	NSEC=6	
1 SH=R	T=0.35,0.30	W=0.252	E=2.973E6	
2 SH=R	T=0.45,0.30	W=0.324	E=2.973E6	

3 SH=R T=0.50,0.50 W=0.600 E=2.973E6
 4 SH=R T=0.38,0.30 W=0.2736 E=2.973E6 :ATAP
 5 SH=R T=0.48,0.30 W=0.3456 E=2.973E6 :ATAP
 1 WG=0,0,-0.864 PLD=0,-1.644,0
 2 WG=0,0,-0.864 PLD=3,-1.644,0
 3 WG=0,0,-0.864 PLD=0,-2.114,0
 4 WG=0,0,-0.864 PLD=3,-2.114,0
 5 WG=0,0,-0.864 PLD=0,-1.709,0
 6 WG=0,0,-0.864 PLD=0,-1.127,0
 7 WG=0,0,-0.922 PLD=4,-3.561,0
 8 WG=0,0,-0.922 PLD=4,-3.561,0,8,-3.561,0,12,-3.561,0
 9 WG=0,0,-1.431
 10 WG=0,0,-1.614
 11 WG=0,0,-1.376 PLD=4,-1.941,0
 12 WG=0,0,-1.376 PLD=4,-1.941,0,8,-1.941,0,12,-1.941,0
 13 WG=0,0,-0.576 PLD=4,-0.882,0
 14 WG=0,0,-1.152 PLD=4,-5.27711,0
 15 WG=0,0,-0.527 PLD=4,-0.882,0
 16 WG=0,0,-0.800 PLD=0,-0.689,0
 17 WG=0,0,-0.800 PLD=3,-0.689,0
 18 WG=0,0,-0.800 PLD=0,-0.776,0
 19 WG=0,0,-0.800 PLD=3,-0.776,0
 20 WG=0,0,-0.800 PLD=0,-0.888,0
 21 WG=0,0,-0.800 PLD=0,-0.488,0
 22 WG=0,0,-1.021 PLD=4,-2.035,0
 23 WG=0,0,-1.021 PLD=4,-2.035,0,8,-2.035,0,12,-2.035,0
 24 WG=0,0,-1.325
 25 WG=0,0,-1.495
 26 WG=0,0,-1.274 PLD=4,-0.747,0
 27 WG=0,0,-1.274 PLD=4,-0.747,0,8,-0.747,0,12,-0.747,0
 28 WG=0,0,-0.533 PLD=4,-0.400,0
 29 WG=0,0,-1.068 PLD=4,-2.347,0
 30 WG=0,0,-0.488 PLD=4,-0.400,0
 31 WG=0,0,-0.864 PLD=3,-1.709,0
 32 WG=0,0,-0.864 PLD=3,-1.127,0
 33 WG=0,0,-0.800 PLD=3,-0.888,0
 34 WG=0,0,-0.800 PLD=3,-0.488,0
 35 WG=0,0,-0.527 PLD=0,-0.882,0
 36 WG=0,0,-0.576 PLD=0,-0.882,0
 37 WG=0,0,-0.488 PLD=0,-0.400,0
 38 WG=0,0,-0.533 PLD=0,-0.400,0
 39 WL=0,-0.800,0
 40 WL=0,-0.741,0
 41 WL=0,-1.600,0
 42 WL=0,-1.482,0
 43 WG=0,0,-0.722 PLD=0,-1.522,0 : BEBAN ATAP
 44 WG=0,0,-0.722 PLD=3,-1.522,0
 45 WG=0,0,-0.722 PLD=0,-1.976,0
 46 WG=0,0,-0.722 PLD=3,-1.976,0
 47 WG=0,0,-0.722 PLD=0,-1.551,0
 48 WG=0,0,-0.722 PLD=3,-1.551,0
 49 WG=0,0,-0.722 PLD=0,-1.040,0
 50 WG=0,0,-0.722 PLD=3,-1.040,0
 51 WG=0,0,-0.921 PLD=0,-3.726,0
 52 WG=0,0,-0.962 PLD=4,-3.478,0
 53 WG=0,0,-1.178
 54 WG=0,0,-1.196
 55 WG=0,0,-1.324
 56 WG=0,0,-1.349
 57 WG=0,0,-0.200 PLD=0,-0.172,0
 58 WG=0,0,-0.200 PLD=3,-0.172,0
 59 WG=0,0,-0.200 PLD=0,-0.194,0
 60 WG=0,0,-0.200 PLD=3,-0.194,0
 61 WG=0,0,-0.200 PLD=0,-0.222,0
 62 WG=0,0,-0.200 PLD=3,-0.222,0
 63 WG=0,0,-0.200 PLD=0,-0.122,0
 64 WG=0,0,-0.200 PLD=3,-0.122,0
 65 WG=0,0,-0.255 PLD=0,-0.509,0
 66 WG=0,0,-0.267 PLD=4,-0.370,0
 67 WG=0,0,-0.326
 68 WG=0,0,-0.331
 69 WG=0,0,-0.367
 70 WG=0,0,-0.374

151	126	206	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=1,0	
152	128	208	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=1,0	
153	132	212	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=1,0	
154	134	214	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=1,0	
155	206	1126	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=0,11	
156	208	1128	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=0,11	
157	212	1132	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=0,11	
158	214	1134	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=0,11	
171	127	207	M=2	LP=3,0	NSL=41,42	MS=1,0	
172	133	213	M=2	LP=3,0	NSL=41,42	MS=1,0	
181	207	1127	M=2	LP=-3,0	NSL=41,42	MS=0,11	
182	213	1133	M=2	LP=-3,0	NSL=41,42	MS=0,11	
251	1126	1206	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=11,12	G=4,100,1000,1000,10,10
252	1128	1208	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=11,12	G=4,100,1000,1000,10,10
253	1132	1212	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=11,12	G=4,100,1000,1000,10,10
254	1134	1214	M=2	LP=3,0	NSL=39,40	MS=11,12	G=4,100,1000,1000,10,10
255	1206	2126	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=12,21	G=3,100,1000,1000,10,10
256	1208	2128	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=12,21	G=3,100,1000,1000,10,10
257	1212	2132	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=12,21	G=3,100,1000,1000,10,10
258	1214	2134	M=2	LP=-3,0	NSL=39,40	MS=12,21	G=3,100,1000,1000,10,10
271	1127	1207	M=2	LP=3,0	NSL=41,42	MS=11,12	G=4,100,1000,1000,10,10
272	1133	1213	M=2	LP=3,0	NSL=41,42	MS=11,12	G=4,100,1000,1000,10,10
281	1207	2127	M=2	LP=-3,0	NSL=41,42	MS=12,21	G=3,100,1000,1000,10,10
282	1213	2133	M=2	LP=-3,0	NSL=41,42	MS=12,21	G=3,100,1000,1000,10,10
1101	1105	1106	M=1	LP=-2,0	NSL=1,16	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1102	1106	1108	M=1	LP=-2,0	NSL=7,22	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1104	1108	1112	M=1	LP=-2,0	NSL=8,23	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1108	1112	1114	M=1	LP=-2,0	NSL=7,22	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1110	1114	1115	M=1	LP=-2,0	NSL=2,17	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1111	1125	1126	M=1	LP=-2,0	NSL=3,18	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1112	1126	1128	M=1	LP=-2,0	NSL=11,26	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1114	1128	1132	M=1	LP=-2,0	NSL=12,27	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1118	1132	1134	M=1	LP=-2,0	NSL=11,26	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1120	1134	1135	M=1	LP=-2,0	NSL=4,19	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1121	1101	1106	M=2	LP=3,0	NSL=5,20	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1122	1102	1108	M=2	LP=3,0	NSL=6,21	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1123	1103	1112	M=2	LP=3,0	NSL=6,21	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1124	1104	1114	M=2	LP=3,0	NSL=5,20	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1131	1106	1126	M=2	LP=3,0	NSL=9,24	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1132	1108	1128	M=2	LP=3,0	NSL=10,25	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1133	1112	1132	M=2	LP=3,0	NSL=10,25	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1134	1114	1134	M=2	LP=3,0	NSL=9,24	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1141	1126	1121	M=2	LP=3,0	NSL=15,30	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1142	1128	1122	M=2	LP=3,0	NSL=13,28	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1143	1132	1123	M=2	LP=3,0	NSL=13,28	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1144	1134	1124	M=2	LP=3,0	NSL=15,30	MS=11,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1201	1205	1206	M=1	LP=-2,0	NSL=3,18	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1202	1206	1208	M=1	LP=-2,0	NSL=11,26	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1204	1208	1212	M=1	LP=-2,0	NSL=12,27	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1208	1212	1214	M=1	LP=-2,0	NSL=11,26	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1210	1214	1215	M=1	LP=-2,0	NSL=4,19	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1211	1225	1226	M=1	LP=-2,0	NSL=1,16	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1212	1226	1228	M=1	LP=-2,0	NSL=7,22	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1214	1228	1232	M=1	LP=-2,0	NSL=7,22	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1218	1232	1234	M=1	LP=-2,0	NSL=7,22	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1220	1234	1235	M=1	LP=-2,0	NSL=2,17	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1221	1201	1206	M=2	LP=3,0	NSL=35,37	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1222	1202	1208	M=2	LP=3,0	NSL=36,38	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1223	1203	1212	M=2	LP=3,0	NSL=36,38	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1224	1204	1214	M=2	LP=3,0	NSL=35,37	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1231	1206	1226	M=2	LP=3,0	NSL=9,24	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1232	1208	1228	M=2	LP=3,0	NSL=10,25	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1233	1212	1232	M=2	LP=3,0	NSL=10,25	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1234	1214	1234	M=2	LP=3,0	NSL=9,24	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1241	1226	1221	M=2	LP=3,0	NSL=31,33	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1242	1228	1222	M=2	LP=3,0	NSL=32,34	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1243	1232	1223	M=2	LP=3,0	NSL=32,34	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1244	1234	1224	M=2	LP=3,0	NSL=31,33	MS=12,12	G=4,1000,1000,1000,10,10
1301	106	1106	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10	
1302	108	1108	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10	
1303	112	1112	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10	
1304	114	1114	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10	
1305	126	1126	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10	

1306	128	1128	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1307	132	1132	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1308	134	1134	M=3	LP=2,0	MS=1,11	G=4,1000,1000,1000,10,10
1401	206	1206	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1402	208	1208	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1403	212	1212	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1404	214	1214	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1405	226	1226	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1406	228	1228	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1407	232	1232	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
1408	234	1234	M=3	LP=2,0	MS=0,12	
2401	1206	2206	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2402	1208	2208	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2403	1212	2212	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2404	1214	2214	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2405	1226	2226	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2406	1228	2228	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2407	1232	2232	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
2408	1234	2234	M=3	LP=2,0	MS=12,22	G=3,1000,1000,1000,10,10
6101	6105	6106	M=4	LP=-2,0	NSL=45,57	MS=70,70 G=1,110,120,120,0,0
6102	6106	6107	M=4	LP=-2,0	NSL=51,65	MS=70,70 G=7,1,1,1,0,0
6110	6114	6115	M=4	LP=-2,0	NSL=44,58	MS=70,70 G=1,110,120,120,0,0
6111	6125	6126	M=4	LP=-2,0	NSL=45,59	MS=70,70 G=1,90,80,80,0,0
6112	6126	6127	M=4	LP=-2,0	NSL=52,66	MS=70,70 G=7,1,1,1,0,0
6120	6134	6135	M=5	LP=-2,0	NSL=46,60	MS=70,70 G=1,90,80,80,0,0
6121	6101	6106	M=5	LP=3,0	NSL=47,61	MS=70,70 G=1,3,3,8,0,0
6122	6102	6108	M=5	LP=3,0	NSL=49,63	MS=70,70 G=1,1,1,4,0,0
6131	6106	6126	M=5	LP=3,0	NSL=54,68	MS=70,70 G=1,3,8,8,0,0
6132	6108	6128	M=5	LP=3,0	NSL=56,70	MS=70,70 G=1,1,4,4,0,0
6141	6126	6206	M=5	LP=3,0	NSL=53,67	MS=70,70 G=1,3,8,8,0,0
6142	6128	6208	M=5	LP=3,0	NSL=55,69	MS=70,70 G=1,1,4,4,0,0
6202	6206	6207	M=4	LP=-2,0	NSL=52,66	MS=70,70 G=7,1,1,1,0,0
6212	6226	6227	M=4	LP=-2,0	NSL=51,65	MS=70,70 G=7,1,1,1,0,0
6221	6226	6201	M=5	LP=3,0	NSL=48,62	MS=70,70 G=1,3,8,3,0,0
6222	6228	6202	M=5	LP=3,0	NSL=50,64	MS=70,70 G=1,1,4,1,0,0
6231	6206	6226	M=5	LP=3,0	NSL=54,68	MS=70,70 G=1,3,8,8,0,0
6232	6208	6228	M=5	LP=3,0	NSL=56,70	MS=70,70 G=1,1,4,4,0,0
6301	5106	6106	M=3	LP=2,0	MS=51,70	G=1,2,6,6,0,0
6302	5108	6108	M=3	LP=2,0	MS=51,70	G=1,2,6,6,0,0
6305	5126	6126	M=3	LP=2,0	MS=51,70	G=1,2,6,6,0,0
6306	5128	6128	M=3	LP=2,0	MS=51,70	G=1,2,6,6,0,0
6401	5206	6206	M=3	LP=2,0	MS=52,70	G=1,2,6,6,0,0
6402	5208	6208	M=3	LP=2,0	MS=52,70	G=1,2,6,6,0,0
6405	5226	6226	M=3	LP=2,0	MS=52,70	G=1,2,6,6,0,0
6406	5228	6228	M=3	LP=2,0	MS=52,70	G=1,2,6,6,0,0

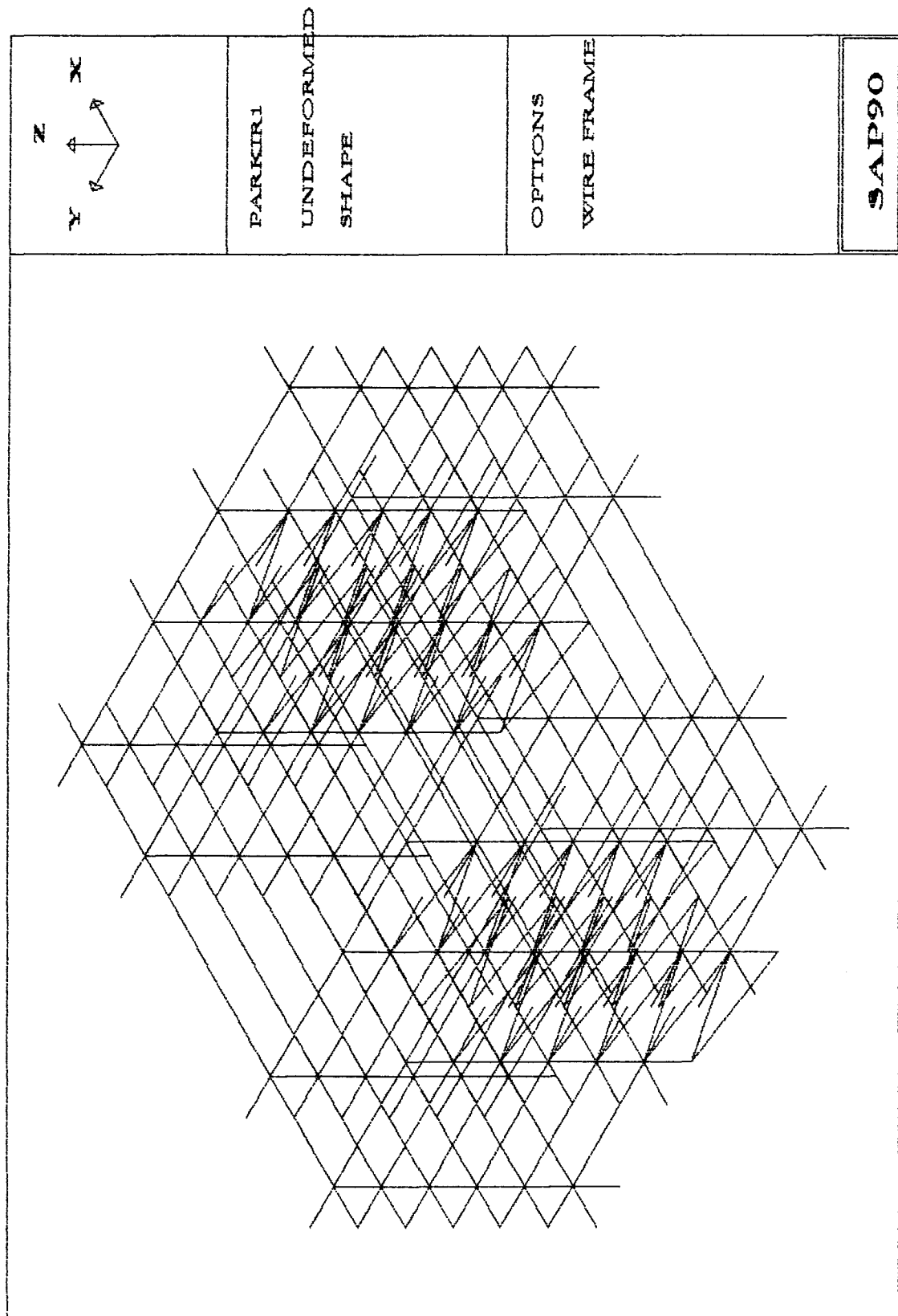
SPEC

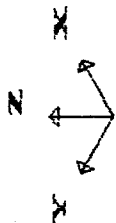
A=73.3008 S=9.81 D=0.05

0	0.05	0.05
0.25	0.05	0.05
0.50	0.05	0.05
0.75	0.05	0.05
1	0.05	0.05
1.25	0.04375	0.04375
1.5	0.0375	0.0375
1.75	0.03125	0.03125
2	0.025	0.025
2.25	0.025	0.025
2.5	0.025	0.025
2.75	0.025	0.025
3	0.025	0.025

COMBO

1	C=1,0
2	C=0,1
3	C=1.2,1.6
4	C=1.05,0.525 D=1.05*2
5	C=1.05,0.525 D=1.05*-2
C 5	C=0.9,0 D=0.9
C 6	C=0.9,0 D=-0.9
:	





PARFIR 1

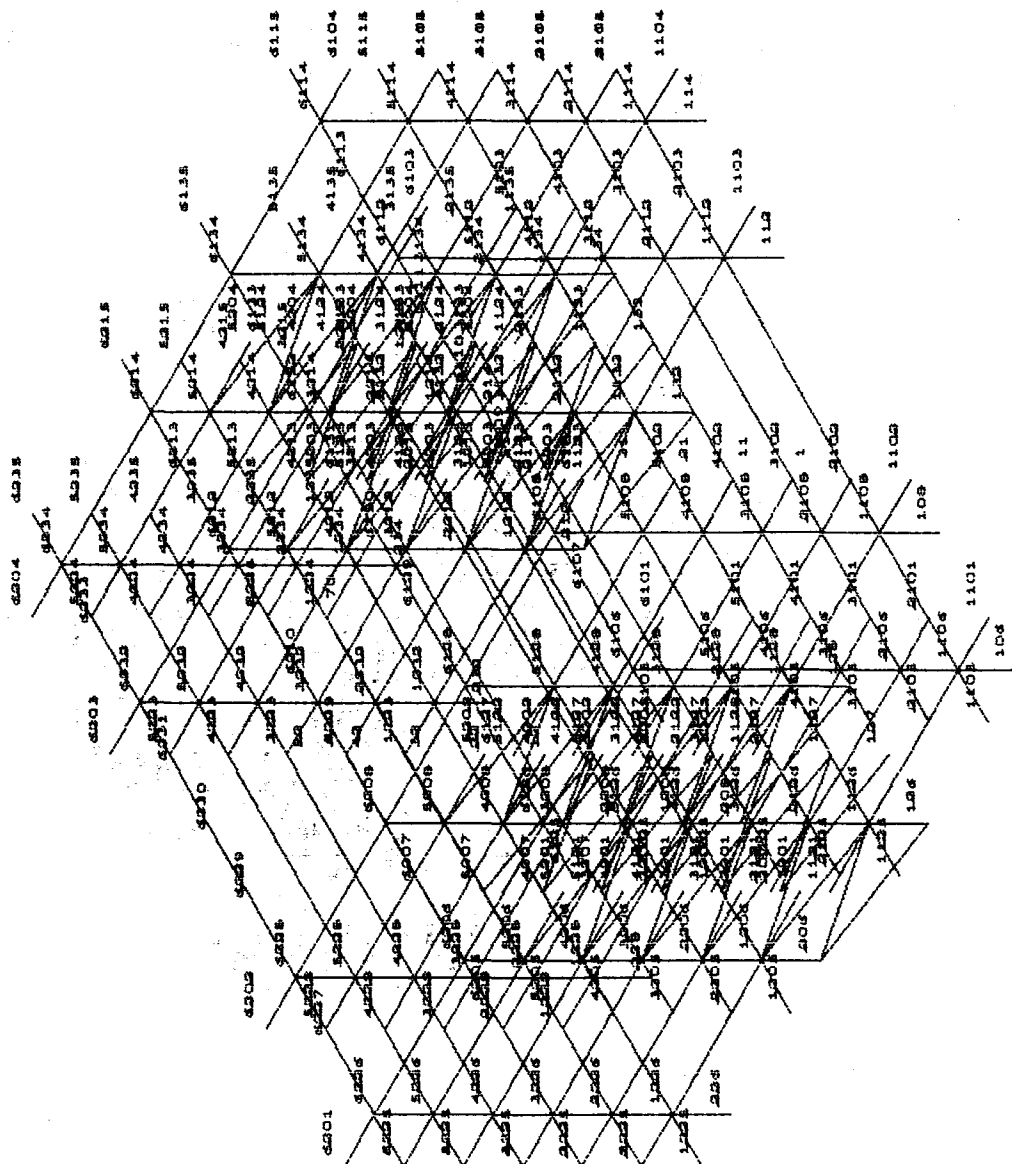
UNDEFORMED
SHAPE

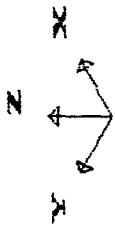
OPTIONAL

JOINT ID-3

WIRTE FRAMME

SAPCO





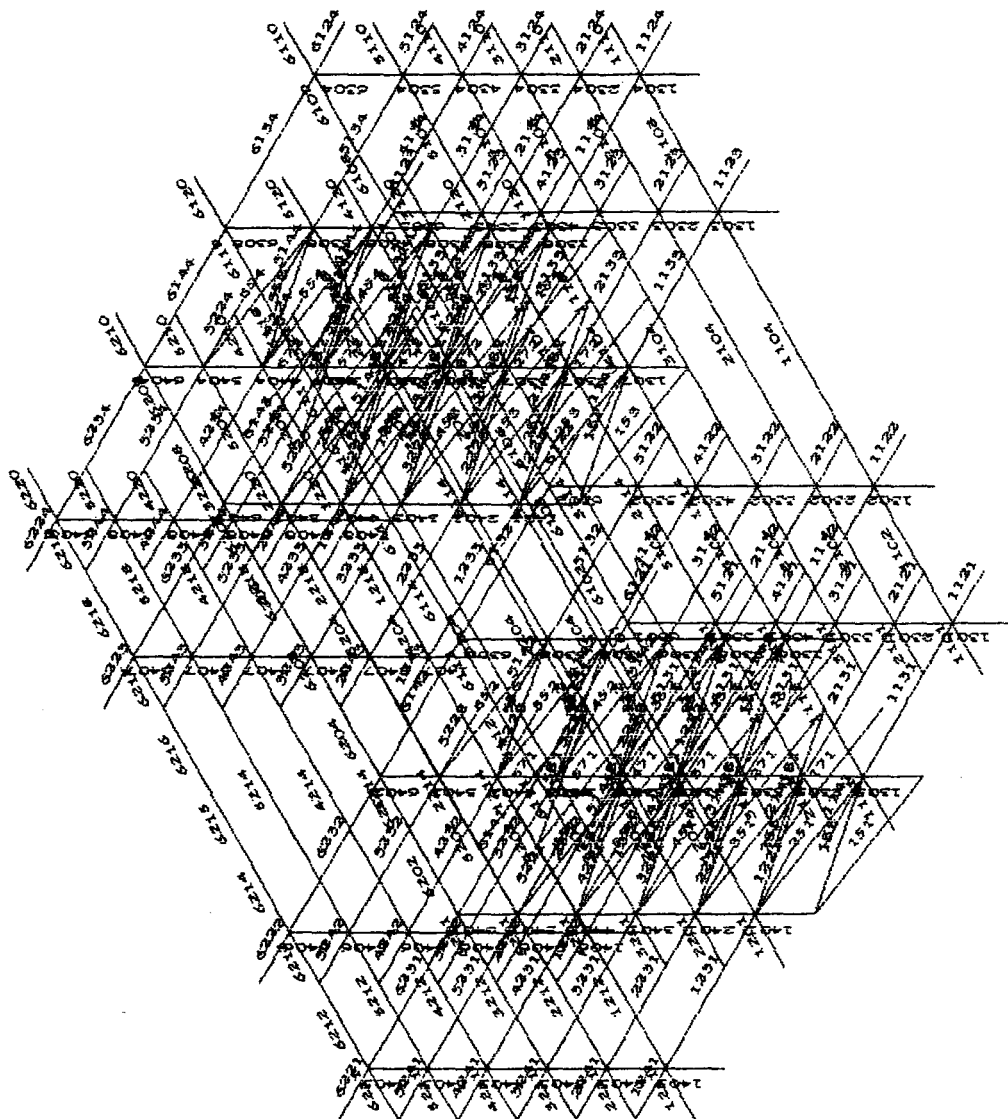
PARKIR1

UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS

ELEMENT IDS
WIRE FRAME

SAP90



Pelat lantai parkir dasar

$f_y = 400 \text{ Mpa}$ $d_y = 92 \text{ mm}$ $t = 150 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ Mpa}$ $\phi = 0.8$

$dx = 104 \text{ mm}$ $m = 18.82$

Type pelat	men (Nmm)		Rn	p min	p perlu	As perlu (mm ²)	jumlah tulangan	spasi perlu (mm)	spasi pakai (mm)	As ada (mm ²)	Asada > Asperlu	penulangan
A	Mlx	8.19E+06	0.9465	0.0035	0.0024	364	3	25	300	377	ya	3D12-300
	Mly	5.09E+06	0.7517	0.0035	0.0019	322	3	25	350	323.1	ya	3D12-350
B	Mlx	8.90E+06	1.0286	0.0035	0.0026	364	3	25	300	377	ya	3D12-300
	Mly	5.37E+06	0.7931	0.0018	0.0018	165.6	1	25	650	173.9	ya	1D12-650
C	Mlx	6.50E+06	0.7512	0.0035	0.0019	364	3	25	300	377	ya	3D12-300
	Mly	5.37E+06	0.7931	0.0035	0.0020	322	3	25	350	323.1	ya	3D12-350
D	Mlx	1.04E+07	1.1973	0.0035	0.0031	364	3	25	300	377	ya	3D12-300
	Mly	7.73E+06	1.1416	0.0035	0.0029	322	3	25	350	323.1	ya	3D12-350
E	Mlx	2.26E+07	2.6130	0.0035	0.0070	728	6	25	150	754	ya	6D12-150
	Mly	1.23E+07	1.8165	0.0018	0.0018	165.6	1	25	650	173.9	ya	1D12-650
F	Mlx	2.26E+07	2.6130	0.0035	0.0070	728	6	25	150	754	ya	6D12-150
	Mly	1.23E+07	1.8165	0.0018	0.0018	165.6	1	25	650	173.9	ya	1D12-650
G	Mlx	1.04E+07	1.1973	0.0035	0.0031	364	3	25	300	377	ya	3D12-300
	Mly	7.73E+06	1.1416	0.0035	0.0029	322	3	25	350	323.1	ya	3D12-350
H	Mlx	1.04E+07	1.1973	0.0035	0.0031	364	3	25	300	377	ya	3D12-300
	Mly	7.73E+06	1.1416	0.0035	0.0029	322	3	25	350	323.1	ya	3D12-350
I	Mlx	2.26E+07	2.6130	0.0035	0.0070	728	6	25	150	754	ya	6D12-150
	Mly	1.23E+07	1.8165	0.0018	0.0018	165.6	1	25	650	173.9	ya	1D12-650
J	Mlx	1.30E+07	1.5047	0.0035	0.0039	405.6	4	25	250	452.4	ya	4D12-250
	Mly	1.30E+07	1.9228	0.0035	0.0050	460	3	25	200	565.5	ya	3D12-200

Pelat lantai parkir

$f_y = 400 \text{ Mpa}$ $d_y = 97 \text{ mm}$ $t = 150 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ Mpa}$ $\phi = 0.8$

$d_x = 105 \text{ mm}$ $m = 18.82$

Type pelat	Momen (Nmm)		Rn	p min	p perlu	As perlu (mm ²)	jumlah tulangan	spasi perlu (mm)	spasi pakai (mm)	As ada (mm ²)	Asada > Asperlu	penulangan
A	Mlx	5.09E+06	0.5771	0.0035	0.0015	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	3.16E+06	0.4198	0.0035	0.0011	339.5	3	25	300	377	ya	3D12-300
B	Mlx	5.54E+06	0.6281	0.0035	0.0016	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	3.34E+06	0.4626	0.0018	0.0018	174.6	5	25	650	188.5	ya	1D12-600
C	Mlx	4.04E+06	0.4580	0.0035	0.0012	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	3.34E+06	0.4437	0.0035	0.0011	339.5	3	25	300	377	ya	3D12-300
D	Mlx	4.56E+06	0.5170	0.0035	0.0013	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	4.56E+06	0.6058	0.0035	0.0015	339.5	3	25	300	377	ya	3D12-300
E	Mlx	1.41E+07	1.5941	0.0035	0.0041	430.5	6	25	150	523.6	ya	6D10-150
	Mly	7.65E+06	1.0596	0.0018	0.0018	174.6	5	25	650	188.5	ya	1D12-600
F	Mlx	1.41E+07	1.5941	0.0035	0.0041	430.5	6	25	150	523.6	ya	6D10-150
	Mly	7.65E+06	1.0596	0.0018	0.0018	174.6	5	25	650	188.5	ya	1D12-600
G	Mlx	4.56E+06	0.5170	0.0035	0.0013	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	4.56E+06	0.6058	0.0035	0.0015	339.5	3	25	300	377	ya	3D12-300
H	Mlx	4.56E+06	0.5170	0.0035	0.0013	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	4.56E+06	0.6058	0.0035	0.0015	339.5	3	25	300	377	ya	3D12-300
I	Mlx	1.41E+07	1.5941	0.0035	0.0041	430.5	6	25	150	523.6	ya	6D10-150
	Mly	7.65E+06	1.0596	0.0018	0.0018	174.6	5	25	650	188.5	ya	1D12-600
J	Mlx	8.09E+06	0.9172	0.0035	0.0023	367.5	5	25	200	392.7	ya	5D10-200
	Mly	8.09E+06	1.0748	0.0035	0.0028	339.5	3	25	300	377	ya	3D12-300

Pelat lantai atap

$f_y = 400 \text{ Mpa}$ $d_y = 64 \text{ mm}$ $t = 120 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ Mpa}$ $\phi = 0.8$

$d_x = 75 \text{ mm}$ $m = 18.82$

Type pelat	men (Nmm)		Rn	p min	p perlu	As perlu (mm ²)	jumlah tulangan	spasi perlu (mm)	spasi pakai (mm)	As ada (mm ²)	Asada > Asperlu	penulangan
A	Mlx	2.36E+06	0.5244	0.0035	0.0013	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	1.46E+06	0.4456	0.0035	0.0011	224	2	25	500	226.2	ya	2D12-500
B	Mlx	2.57E+06	0.5711	0.0035	0.0014	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	1.55E+06	0.4730	0.0018	0.0018	115.2	1	25	950	119	ya	1D12-950
C	Mlx	1.88E+06	0.4178	0.0035	0.0011	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	1.55E+06	0.4730	0.0035	0.0012	224	2	25	500	226.2	ya	2D12-500
D	Mlx	2.99E+06	0.6644	0.0035	0.0017	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	2.23E+06	0.6805	0.0035	0.0017	224	2	25	500	226.2	ya	2D12-500
E	Mlx	6.52E+06	1.4489	0.0035	0.0038	281.625	4	25	150	314.2	ya	4D10-250
	Mly	3.55E+06	1.0834	0.0018	0.0018	115.2	1	25	950	119	ya	1D12-950
F	Mlx	6.52E+06	1.4489	0.0035	0.0038	281.625	4	25	150	314.2	ya	4D10-250
	Mly	3.55E+06	1.0834	0.0018	0.0018	115.2	1	25	950	119	ya	1D12-950
G	Mlx	2.99E+06	0.6644	0.0035	0.0017	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	2.23E+06	0.6805	0.0035	0.0017	224	2	25	500	226.2	ya	2D12-500
H	Mlx	2.99E+06	0.6644	0.0035	0.0017	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	2.23E+06	0.6805	0.0035	0.0017	224	2	25	500	226.2	ya	2D12-500
I	Mlx	6.52E+06	1.4489	0.0035	0.0038	281.625	4	25	150	314.2	ya	4D10-250
	Mly	3.55E+06	1.0834	0.0018	0.0018	115.2	1	25	950	119	ya	1D12-950
J	Mlx	3.76E+06	0.8356	0.0035	0.0021	262.5	4	25	250	314.2	ya	4D10-250
	Mly	3.76E+06	1.1475	0.0035	0.0030	224	2	25	500	226.2	ya	2D12-500

PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK ANAK GEDUNG PARKIR METROPOLITAN MALL BEKASI

Penampang balok : h= 500 mm

b= 300 mm

decking : 40 mm

senggang : 12 mm

tul.utama : 25 mm

fc' = 25 Mpa

fy = 320 MPa

ϕ = 0.8

ρ_{min} = 0.00438 $\rho_{balance}$ = 0.03681

ρ_{max} = 0.02761

Perhitungan :

d = 435.5 mm

d' = 64.5 mm

δ = 0.5

β = 0.85

Penulangan lentur balok anak pada :

Tumpuan :

ρ_{min} = 0.00438

ρ_{max} = 0.02761

distance	Mu (Nmm)	Rn (N/mm ²)	$\rho \delta$	ρ'	ρ_{ada}	$\rho_{min} < \rho_{ada} < \rho_{max}$	As mm ²	pakai tul.	As' mm ²	pakai tul.
0.00	7.37E+07	8.10E-01	2.5800E-03	0.00296971	5.5497E-03	5.45E-03	725.0696	1.5	362.5348	0.7
3.00	4.82E+07	5.29E-01	1.6757E-03	0.0019422	3.6179E-03	0.00438	572.247	1.2	286.1235	0.6
0.00	1.96E+08	2.16E+00	7.1239E-03	0.00791386	1.5038E-02	1.48E-02	1964.681	4.0	982.3406	2.0
9.00	1.96E+08	2.16E+00	7.1239E-03	0.00791386	1.5038E-02	1.48E-02	1964.681	4.0	982.3406	2.0
0.00	1.09E+08	1.20E+00	3.8644E-03	0.0044042	8.2685E-03	8.11E-03	1080.286	2.2	540.1429	1.1
4.00	1.67E+08	1.83E+00	6.0002E-03	0.00672517	1.2725E-02	1.25E-02	1662.57	3.4	831.2852	1.7

Lapangan :

ρ_{min} = 0.00438

ρ_{max} = 0.02761

distance	Mu (Nmm)	Rn (N/mm ²)	$\rho \delta$	ρ'	ρ_{ada}	$\rho_{min} < \rho_{ada} < \rho_{max}$	As mm ²	pakai tul.	As' mm ²	pakai tul.
1.50	6.40E+06	7.03E-02	2.20E-04	0.00025789	4.78E-04	0.00438	571.5938	1.2	285.7969	0.6
4.50	9.82E+07	1.08E+00	3.46E-03	0.00395693	7.42E-03	0.00728	140.6317	0.3	70.31587	0.1
2.00	1.44E+07	1.58E-01	4.96E-04	0.00058024	1.08E-03	0.00438	571.5938	1.2	285.7969	0.6

n As	n As'	rada	r'ada	A	B	A < B	a	b
2	2	0.00751	0.007510524	0.007011779	0.017914004	ya	5418.75	2.83E+05
2	2	0.00751	0.007510524	0.007011779	0.017914004	ya	5418.75	2.83E+05
4	2	0.01502	0.007510524	0.014023557	0.017914004	ya	5418.75	-3.07E+04
4	2	0.01502	0.007510524	0.014023557	0.017914004	ya	5418.75	-3.07E+04
3	2	0.01127	0.007510524	0.010517668	0.017914004	ya	5418.75	1.26E+05
4	2	0.01502	0.007510524	0.014023557	0.017914004	ya	5418.75	-3.07E+04

x1	a*	Cs (MPa)	Cc (Mpa)	Mn (Nmm)	Mu (Nmm)
63.53242	54.002561	293148.4375	344266.3274	249390424.176	2.00E+08
63.53242	54.00256	293148.4375	344266.3274	249390424.176	2.00E+08
88.65695	75.35841	293148.4375	480409.872	299875107.200	2.40E+08
88.65695	75.35841	293148.4375	480409.872	299875107.200	2.40E+08
74.91203	63.67523	293148.4375	405929.5894	272616576.559	2.18E+08
88.65695	75.358411	293148.4375	480409.872	299875107.200	2.40E+08

PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK

b = 300 mm

$\phi_{tul.utama} = 25$ mm

$f_c' = 25$ Mpa

decking = 40 mm

$\rho_{min} = 1.4/f_y = 0.004375$

h = 600 mm

$\phi_{seengkang} = 10$ mm

$f_y = 320$ Mpa

d = 537.5 mm

$\rho_{max} = 0.75$ $\rho_{balance} = 0.0368$

balok		Mu	Rn	ρ_g	ρ'	ρ_1	ρ	As	As'	tulangan				As ada	As' ada
1121	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
2121	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
3121	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
4121	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
5121	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
6121	lapangan	6.58E+07	0.4466	0.0014	0.0016	0.0030	0.0044	705.4688	352.7344	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.39E+08	0.9400	0.0030	0.0033	0.0063	0.0084	1360.8319	680.4159	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
1122	lapangan	8.22E+06	0.0558	0.0002	0.0002	0.0004	0.0044	705.4688	352.7344	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
2122	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
3122	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
4122	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
5122	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
6122	lapangan	5.19E+07	0.3522	0.0011	0.0012	0.0024	0.0044	705.4688	352.7344	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.15E+08	0.7825	0.0025	0.0028	0.0053	0.0070	1130.7615	565.3807	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
1123	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
2123	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3

PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK

b = 300 mm

$\phi_{tul.utama} = 25 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ Mpa}$

decking = 40 mm $\rho_{min} = 1.4/f_y = 0.004375$

h = 600 mm

$\phi_{senggang} = 10 \text{ mm}$

$f_y = 320 \text{ Mpa}$

d = 537.5 mm

$\rho_{max} = 0.75 \rho_{balance} = 0.0368$

balok		Mu	Rn	ρ_s	ρ'	ρ_1	ρ	As	As'	tulangan				As ada	As' ada
3123	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
4123	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
5123	lapangan	8.22E+07	0.5579	0.0018	0.0020	0.0037	0.0050	804.0315	402.0157	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.86E+08	1.2603	0.0041	0.0045	0.0085	0.0114	1831.7107	915.8553	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
6123	lapangan	5.19E+07	0.3522	0.0011	0.0012	0.0024	0.0044	705.4688	352.7344	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.15E+08	0.7825	0.0025	0.0028	0.0053	0.0070	1130.7615	565.3807	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
1124	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
2124	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
3124	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
4124	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
5124	lapangan	1.06E+08	0.7214	0.0023	0.0026	0.0048	0.0065	1041.7479	520.8739	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	2.26E+08	1.5332	0.0050	0.0054	0.0104	0.0139	2235.8409	1117.9204	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
6124	lapangan	6.58E+07	0.4466	0.0014	0.0016	0.0030	0.0044	705.4688	352.7344	2	D 25	2	D 25	981.3	981.3
	tumpuan	1.39E+08	0.9400	0.0030	0.0033	0.0063	0.0084	1360.8319	680.4159	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
1131	tumpuan	4.31E+08	2.9279	0.0099	0.0104	0.0202	0.0202	3263.5259	1631.7629	7	D 25	4	D 25	3434.4	1962.5
	lapangan	1.48E+08	1.0011	0.0032	0.0035	0.0067	0.0090	1450.3246	725.1623	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	1.51E+08	1.0262	0.0033	0.0036	0.0069	0.0092	1487.1557	743.5779	4	D 25	2	D 25	1962.5	981.3
2131	tumpuan	2.38E+08	1.6180	0.0053	0.0057	0.0110	0.0146	2362.1031	1181.0516	5	D 25	3	D 25	2453.1	1471.9
	lapangan	1.35E+08	0.9162	0.0029	0.0032	0.0062	0.0082	1326.0658	663.0329	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	3.32E+08	2.2512	0.0075	0.0080	0.0154	0.0206	3314.0277	1657.0138	7	D 25	4	D 25	3434.4	1962.5
3131	tumpuan	2.64E+08	1.7945	0.0059	0.0063	0.0122	0.0163	2625.6674	1312.8337	6	D 25	3	D 25	2943.8	1471.9
	lapangan	1.28E+08	0.8694	0.0028	0.0031	0.0058	0.0078	1257.5868	628.7934	3	D 25	2	D 25	1471.9	981.3
	tumpuan	3.10E+08	2.1033	0.0069	0.0074	0.0144	0.0192	3090.0557	1545.0279	7	D 25	4	D 25	3434.4	1962.5

PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK INDUK

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

decking = 40mm

$d = 537.5 \text{ mm}$

ϕ sengkang = 10 mm

$b = 300 \text{ mm}$

$h = 600 \text{ mm}$

$x^2y = 256500000 \text{ mm}^3$

Tubatas = 38475000 Nmm

$C_t = 0.000626$

balok	daerah	V_u	ϕV_c	$1/2\phi V_c$	$V_u > 1/2\phi V_c$	V_s	S_{perlu}	S_{pasang}
1121	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
2121	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
3121	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
4121	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
5121	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
6121	lapangan	2.2200E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	7.0200E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	4.710E+02	D12-300
1122	lapangan	2.1300E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.0250E+05	80625	40312.5	ya	3.65E+04	5.336E+02	D12-300
2122	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
3122	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
4122	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
5122	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
6122	lapangan	1.4400E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	6.2500E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	4.710E+02	D12-300

PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK INDUK

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

decking = 40mm

$d = 537.5 \text{ mm}$

ϕ sengkang = 10 mm

$b = 300 \text{ mm}$

$h = 600 \text{ mm}$

$x^2y = 256500000 \text{ mm}^3$

Tubatas = 38475000 Nmm

$C_t = 0.000626$

balok	daerah	V_u	ϕV_c	$1/2\phi V_c$	$V_u > 1/2\phi V_c$	V_s	S_{perm}	$S_{sengkang}$
1123	lapangan	9.4500E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-100
	tumpuan	1.1120E+05	80625	40312.5	ya	5.10E+04	3.817E+02	D12-300
2123	lapangan	2.1300E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.0250E+05	80625	40312.5	ya	3.65E+04	5.336E+02	D12-300
3123	lapangan	2.1300E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.0250E+05	80625	40312.5	ya	3.65E+04	5.336E+02	D12-300
4123	lapangan	2.1300E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.0250E+05	80625	40312.5	ya	3.65E+04	5.336E+02	D12-300
5123	lapangan	2.1300E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.0250E+05	80625	40312.5	ya	3.65E+04	5.336E+02	D12-300
6123	lapangan	1.4400E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	6.2500E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	4.710E+02	D12-300
1124	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
2124	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
3124	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
4124	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
5124	lapangan	3.4700E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	1.1590E+05	80625	40312.5	ya	5.88E+04	3.309E+02	D12-300
6124	lapangan	2.2200E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	1.330E+02	D12-300
	tumpuan	7.0200E+04	80625	40312.5	tidak	3.20E+02	4.710E+02	D12-300

PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK INDUK

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

decking = 40mm

$d = 537.5 \text{ mm}$

ϕ sengkang = 10 mm

$b = 300 \text{ mm}$

$h = 600 \text{ mm}$

$x^2y = 256500000 \text{ mm}^3$

Tubatas = 38475000 Nmm

$C_t = 0.00062632$

balok	daerah	V_u	ϕV_c	$1/2\phi V_c$	$V_u > 1/2\phi V_c$	V_s	ϕ_{geser}	$\phi_{sengkang}$
1131	tumpuan	2.2130E+05	134375	67187.5	ya	2.34E+05	1.152E+02	D10-100
	lapangan	1.3520E+05	134375	67187.5	ya	9.10E+04	2.969E+02	D10-300
	tumpuan	1.6900E+05	134375	67187.5	ya	1.47E+05	1.833E+02	D10-100
2131	tumpuan	2.2130E+05	134375	67187.5	ya	2.34E+05	1.152E+02	D10-100
	lapangan	1.0370E+05	134375	67187.5	ya	3.85E+04	7.022E+02	D10-300
	tumpuan	2.0050E+05	134375	67187.5	ya	2.00E+05	1.352E+02	D10-100
3131	tumpuan	1.8510E+05	134375	67187.5	ya	1.74E+05	1.551E+02	D10-100
	lapangan	1.0900E+05	134375	67187.5	ya	4.73E+04	5.710E+02	D10-300
	tumpuan	1.9520E+05	134375	67187.5	ya	1.91E+05	1.414E+02	D10-100
4131	tumpuan	1.8450E+05	134375	67187.5	ya	1.73E+05	1.560E+02	D10-100
	lapangan	1.0840E+05	134375	67187.5	ya	4.63E+04	5.833E+02	D10-300
	tumpuan	1.9590E+05	134375	67187.5	ya	1.92E+05	1.406E+02	D10-100
5131	tumpuan	1.8570E+05	134375	67187.5	ya	1.75E+05	1.542E+02	D10-100
	lapangan	1.0960E+05	134375	67187.5	ya	4.83E+04	5.592E+02	D10-300
	tumpuan	1.9470E+05	134375	67187.5	ya	1.90E+05	1.420E+02	D10-100
6131	tumpuan	1.1060E+05	134375	67187.5	ya	5.00E+04	5.405E+02	D10-300
	lapangan	5.7800E+04	134375	67187.5	tidak	1.57E+02	5.024E+02	D10-300
	tumpuan	1.0360E+05	134375	67187.5	ya	3.83E+04	7.052E+02	D10-300
1132	tumpuan	2.4300E+05	134375	67187.5	ya	2.71E+05	9.978E+01	D10-100
	lapangan	1.5810E+05	134375	67187.5	ya	1.29E+05	2.091E+02	D10-100
	tumpuan	1.8150E+05	134375	67187.5	ya	1.68E+05	1.606E+02	D10-100
2132	tumpuan	7.0200E+05	134375	67187.5	tidak	1.57E+02	5.024E+02	D10-300
	lapangan	2.2200E+04	134375	67187.5	ya	1.04E+06	2.608E+01	D10-100
	tumpuan	2.2280E+05	134375	67187.5	ya	2.37E+05	1.140E+02	D10-100

PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK INDUK

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

decking = 40mm

$d = 537.5 \text{ mm}$

ϕ sengkang = 10 mm

$b = 300 \text{ mm}$

$h = 600 \text{ mm}$

$x^2y = 256500000 \text{ mm}^3$

Tubatas = 38475000 Nmm

$C_t = 0.00062632$

balok	daerah	V_u	ϕV_c	$1/2\phi V_c$	$V_u > 1/2\phi V_c$	V_s	ϕ pers	ϕ sengkang
3132	tumpuan	2.0710E+05	134375	67187.5	ya	2.11E+05	1.281E+02	D10-100
	lapangan	1.2220E+05	134375	67187.5	ya	6.93E+04	3.897E+02	D10-300
	tumpuan	2.1750E+05	134375	67187.5	ya	2.28E+05	1.184E+02	D10-100
4132	tumpuan	2.0650E+05	134375	67187.5	ya	2.10E+05	1.287E+02	D10-100
	lapangan	1.2160E+05	134375	67187.5	ya	6.83E+04	3.954E+02	D10-300
	tumpuan	2.1810E+05	134375	67187.5	ya	2.29E+05	1.179E+02	D10-100
5132	tumpuan	2.0780E+05	134375	67187.5	ya	2.12E+05	1.274E+02	D10-100
	lapangan	1.2280E+05	134375	67187.5	ya	7.03E+04	3.842E+02	D10-300
	tumpuan	2.1680E+05	134375	67187.5	ya	2.27E+05	1.190E+02	D10-100
6132	tumpuan	1.2150E+05	134375	67187.5	ya	6.81E+04	3.964E+02	D10-300
	lapangan	7.4100E+04	134375	67187.5	tidak	1.57E+02	5.024E+02	D10-300
	tumpuan	1.1540E+05	134375	67187.5	ya	5.80E+04	4.659E+02	D10-300

PENULANGAN LENTUR KOLOM

b = 500 mm fc' = 25 MPa

h = 500 mm fy = 320 Mpa

lantai	kolom	Pu	My	Mx	k	ke/h	p (%)	As (mm ²)	Ashitung	Aspasang	Asada (mm ²)
1	1301	2.40E+06	1.06E+07	1.12E+09	0.59047	0.552763	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1302	3.05E+06	1.26E+08	1.14E+09	0.75134	0.559803	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1303	3.05E+06	1.22E+08	1.14E+09	0.74988	0.560148	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1304	2.35E+06	2.86E+08	1.12E+09	0.57922	0.553452	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1305	4.90E+06	2.92E+08	1.20E+09	1.20596	0.588652	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1306	6.49E+06	2.95E+08	1.19E+09	1.59636	0.586634	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1307	6.49E+06	2.91E+08	1.19E+09	1.59862	0.586978	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1308	4.99E+06	2.89E+08	1.20E+09	1.22831	0.589391	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1401	4.83E+06	3.71E+08	1.66E+08	1.18858	0.081575	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1402	6.45E+06	4.51E+08	1.61E+08	1.58661	0.079409	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1403	6.42E+06	4.61E+08	1.59E+08	1.58048	0.07808	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1404	4.86E+06	3.68E+08	1.33E+08	1.19633	0.065625	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1405	2.36E+06	3.71E+08	1.41E+08	0.58018	0.069465	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1406	2.75E+06	3.78E+08	1.47E+08	0.67746	0.072468	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1407	2.48E+06	3.76E+08	1.45E+08	0.61152	0.071286	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	1408	2.31E+06	3.65E+08	1.36E+08	0.56884	0.067052	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
2	2301	1.97E+06	1.81E+08	5.60E+08	0.48574	0.275495	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2302	2.53E+06	2.99E+08	5.19E+08	0.62326	0.255262	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2303	2.53E+06	3.05E+08	5.18E+08	0.62198	0.254917	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2304	1.93E+06	1.76E+08	5.58E+08	0.47422	0.274806	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2305	4.13E+06	1.80E+08	4.07E+08	1.01755	0.200123	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2306	5.45E+06	4.33E+08	4.19E+08	1.34210	0.206228	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2307	5.46E+06	4.40E+08	4.18E+08	1.34400	0.205735	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2308	4.22E+06	1.74E+08	4.05E+08	1.03862	0.199138	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2401	4.04E+06	1.99E+08	7.33E+07	0.99394	0.036086	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2402	5.37E+06	4.54E+08	6.75E+07	1.32185	0.033231	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2403	5.35E+06	4.65E+08	6.67E+07	1.31673	0.032837	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2404	4.07E+06	1.92E+08	7.14E+07	1.00268	0.035151	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2405	1.97E+06	2.04E+08	4.85E+07	0.48431	0.023877	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2406	2.32E+06	2.50E+08	2.52E+07	0.57093	0.012406	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2407	2.10E+06	2.23E+08	2.50E+07	0.51808	0.012308	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75
	2408	1.92E+06	1.94E+08	4.92E+07	0.47249	0.024222	1	2500	5 D25	6 D25	2943.75

TABEL PERHITUNGAN MOMEN DISTRIBUSI BALOK PRATEKAN AKIBAT GAYA PARATEKAN 144.48 TON

MP1	1.806			-6.140	7.730			-26.003	26.003			-7.730	6.140			-1.806
MP2		32.107	-32.107			16.054	-16.054			16.054	-16.054			32.107	-32.107	
	B				C				J				K			
	BA	BE	BH	BC	CB	CF	CI	CJ	JC	JO	JM	JK	KJ	KP	KN	KL
K																
FD	0.000	0.421	0.421	0.158	0.146	0.390	0.390	0.073	0.073	0.390	0.390	0.146	0.158	0.421	0.421	0.000
MP	1.806	32.107	-32.107	-6.140	7.730	16.054	-16.054	-26.003	26.003	16.054	-16.054	-7.730	6.140	32.107	-32.107	-1.806
Mbal	0.000	1.824	1.824	0.685	2.668	7.127	7.127	1.334	-1.334	-7.127	-7.127	-2.668	-0.685	-1.824	-1.824	0.000
Mdist				1.334	0.342			-0.667	0.667			-0.342	-1.334			0.000
Mbal	0.000	-0.562	-0.562	-0.211	0.047	0.127	0.127	0.024	-0.024	-0.127	-0.127	-0.047	0.211	0.562	0.562	0.000
Mdist				0.024	-0.105			-0.012	0.012			0.105	-0.024			0.000
Mbal	0.000	-0.010	-0.010	-0.004	0.017	0.046	0.046	0.009	-0.009	-0.046	-0.046	-0.017	0.004	0.010	0.010	0.000
Mdist				0.009	-0.002			-0.004	0.004			0.002	-0.009			0.000
Mbal	0.000	-0.004	-0.004	-0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	-0.002	-0.002	-0.001	0.001	0.004	0.004	0.000
Mdist				0.000	-0.001			0.000	0.000			0.001	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Σ	1.806	33.356	-30.858	-4.304	10.698	23.355	-8.752	-25.320	25.320	8.752	-23.355	-10.698	4.304	30.858	-33.356	-1.806

Mjoint	35.162		-35.162		34.053		-34.072		34.072		-34.053		35.162		-35.162	
--------	--------	--	---------	--	--------	--	---------	--	--------	--	---------	--	--------	--	---------	--

e _{op}	0.243		0.243		0.236		0.236		0.236		0.236		0.243		0.243	
-----------------	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--

KONTROL TEGANGAN BALOK PRATEKAN PADA SAAT TRANSFER

b = 300 mm
h = 500 mm

decking = 40 mm
dp = 100 mm

$A_{ps} = 981 \text{ mm}^2$

teg. tarik ijin = 2.83 Mpa
teg. tekan ijin = -19.20 MPa

lantai	balok	daerah	F (N)	Mmax (Nmm)	e_{se} (mm)	f_t (Mpa)	f_b (Mpa)	R_n	ρ	ρ'	ρ	A_s	A_s'	As pasang	As' pasang
1	1101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	1101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	1102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	1102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	1104	lapangan	1E+06	46500000	108	-0.86	-8.63	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	1102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	1102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	1101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
2	1101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	2101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	2101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	2102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	2102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	2104	lapangan	1E+06	46500000	108	-0.86	-8.63	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	2102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	2102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
3	2101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	2101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	3101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	3101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	3102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	3102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	3104	lapangan	1E+06	46500000	108	-0.86	-8.63	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	3102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	3102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	3101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	3101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25

KONTROL TEGANGAN BALOK PRATEKAN PADA SAAT TRANSFER

b = 300 mm
h = 500 mm

decking = 40 mm
dp = 100 mm

Aps = 981 mm²

teg. tarik ijin = 2.83 MPa
teg. tekan ijin = -19.20 MPa

lantai	balok	daerah	F (N)	Mmax (Nmm)	e _{do} (mm)	f _t (Mpa)	f _c (Mpa)	Rn	p _o	p _o '	p	As	As'	As pasang	As' pasang
4	4101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	4101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	4102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	4102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	4104	lapangan	1E+06	46500000	108	-0.86	-8.63	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	4102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	4102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	4101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
5	5101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	5101	lapangan	1E+06	20800000	150	6.04	-25.31	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	5102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	5102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	5104	lapangan	1E+06	46500000	108	-0.86	-8.63	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	5102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-23.26	4.00	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	5102	lapangan	1E+06	79600000	60	-3.40	-3.14	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	5101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-33.43	14.16	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
6	6101	tumpuan	1E+06	82800000	240	-30.75	11.48	0.8482	0.0027	0.003	0.0077	1011.0	505.5	4D25	2D25
	6101	lapangan	1E+06	51700000	150	3.57	-22.83	0.5296	0.0017	0.002	0.0048	629.8	314.9	2D25	2D25
	6102	tumpuan	1E+06	102940000	240	-29.14	9.87	1.0545	0.0033	0.004	0.0096	1258.7	629.4	4D25	2D25
	6102	lapangan	1E+06	57200000	60	-2.87	-1.78	0.586	0.0018	0.002	0.0053	697.1	348.6	2D25	2D25
	6104	lapangan	1E+06	100500000	108	-1.83	-5.77	1.0295	0.0033	0.004	0.0094	1228.7	614.3	4D25	2D25
	6102	tumpuan	1E+06	80600000	240	-30.92	11.66	0.8257	0.0026	0.003	0.0075	984.0	492.0	3D25	2D25
	6102	lapangan	1E+06	57200000	60	-2.87	-1.78	0.586	0.0018	0.002	0.0053	697.1	348.6	2D25	2D25
	6101	tumpuan	1E+06	82800000	240	-30.75	11.48	0.8482	0.0027	0.003	0.0077	1011.0	505.5	4D25	2D25
6	6101	lapangan	1E+06	51700000	150	3.57	-22.83	0.5296	0.0017	0.002	0.0048	629.8	314.9	2D25	2D25

TABEL PERHITUNGAN MOMEN DISTRIBUSI BALOK PRATEKAN AKIBAT GAYA PARATEKAN 111.27 TON

MP1	1.38897			-4.805	5.958			-20.029	20.029			-5.958	4.805			-1.389
MP2		24.727	-24.727			12.364	-12.364			12.364	-12.364			24.727	-24.727	
	B				C				J				K			
	BA	BE	BH	BC	CB	CF	CI	CJ	JC	JO	JM	JK	KJ	KP	KN	KL
K																
FD	0	0.421	0.421	0.158	0.146	0.39	0.39	0.073	0.073	0.39	0.39	0.146	0.158	0.421	0.421	0
MP	1.389	24.727	-24.727	-4.805	5.958	12.364	-12.364	-20.029	20.029	12.364	-12.364	-5.958	4.805	24.727	-24.727	-1.389
Mbal	0.000	1.438	1.438	0.540	2.054	5.488	5.488	1.027	-1.027	-5.488	-5.488	-2.054	-0.540	-1.438	-1.438	0.000
Mdist				1.027	0.270			-0.514	0.514			-0.270	-1.027			0.000
Mbal	0.000	-0.432	-0.432	-0.162	0.036	0.095	0.095	0.018	-0.018	-0.095	-0.095	-0.036	0.162	0.432	0.432	0.000
Mdist				0.018	-0.081			-0.009	0.009			0.081	-0.018			0.000
Mbal	0.000	-0.007	-0.007	-0.003	0.013	0.035	0.035	0.007	-0.007	-0.035	-0.035	-0.013	0.003	0.007	0.007	0.000
Mdist				0.007	-0.001			-0.003	0.003			0.001	-0.007			0.000
Mbal	0.000	-0.003	-0.003	-0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	-0.002	-0.002	-0.001	0.001	0.003	0.003	0.000
Mdist				0.000	-0.001			0.000	0.000			0.001	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Mbal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mdist				0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000			0.000
Σ	1.389	25.722	-23.732	-3.379	8.249	17.984	-6.743	-19.503	19.503	6.743	-17.984	-8.249	3.379	23.732	-25.722	-1.389

Mjoint	27.111	-27.111	26.232	-26.247	26.247	-26.232	27.111	-27.111
--------	--------	---------	--------	---------	--------	---------	--------	---------

e _{oo}	0.244	0.244	0.236	0.236	0.236	0.236	0.244	0.244
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

TABEL PERHITUNGAN MOMEN SEKUNDER BALOK PRATEKAN
GAYA PRATEKAN = 111.27 TON

	b1c	b2c	b3c	b4c	c1d	c2d	c3d	b1a	b2a
l =	8	8	8	8	16	16	16	3	3
lw1 =	0.8	4	7.2	8	1.6	14.4	16	2.7	0.3
lw2 =	0	0.8	4	7.2	0	1.6	14.4		
a	0.1	0.5	0.9	1	0.1	0.9	1		
b	0	0.1	0.5	0.9	0	0.1	0.9		
q1 =	2.086	0.522	2.26	9.041	5.216	1.304	5.216		
q2 =	0	0.255	2.26	9.041	0	1.304	5.216		
w1 =	1.6688	2.088	16.272	72.328	8.3456	18.7776	83.456	0.343	
w2 =	0	0.204	9.04	65.095	0	2.0864	75.11		3.091
Ma =	0.5819	-1.8429	-3.7221	0.1784	5.8197	-26.261	0.4117		
Mb =	-0.041	0.865	7.65628	-2.522	-0.4117	26.2608	-5.82	1.5281	-0.1391

$\Sigma M_{bc} = -4.805 \text{ tm}$ $\Sigma M_{cj} = -20.029 \text{ tm}$ $\Sigma M_{ba} = 1.389 \text{ tm}$
 $\Sigma M_{cb} = 5.9582 \text{ tm}$ $\Sigma M_{jc} = 20.0294 \text{ tm}$
 $K_{ab} = 0$ $K_{bc} = 0.5$ $K_{cb} = 0.5$ $K_{cd} = 0.5$ $K_{dc} = 1$
 $FD = 0.5$ 0.5

0.25

KONTROL TEGANGAN BALOK PRATEKAN PADA SAAT BEBAN KERJA

b = 300 mm
h = 500 mm

decking = 40 mm
dp = 100 mm

Aps = 981 mm²

teg. tarik ijin = 2.83 Mpa
teg. tekan ijin = -19.20 MPa

lantai	balok	daerah	F (N)	Mmax (Nmm)	e _{ku} (mm)	f _t (Mpa)	f _c (Mpa)	Rn	p _a	p'	p	As	As'	As pasang	As' pasang
1	1101	tumpuan	1E+06	92300000	240	-21.40	6.56	0.9455	0.003	0.003	0.0086	1127.8	563.9	2D25	2D25
	1101	lapangan	1E+06	55400000	150	1.50	-16.34	0.5675	0.0018	0.002	0.0051	675.1	337.5	2D25	2D25
	1102	tumpuan	1E+06	372900000	240	1.05	-15.89	3.82	0.0127	0.014	0.0355	4659.1	2329.5	5D25	3D25
	1102	lapangan	1E+06	44100000	60	-5.61	-9.23	0.4518	0.0014	0.002	0.0041	537.0	268.5	2D25	2D25
	1104	lapangan	1E+06	16840000	108	0.85	-15.68	0.1725	0.0005	6E-04	0.0016	204.6	102.3	2D25	2D25
	1102	tumpuan	1E+06	374900000	240	1.21	-16.05	3.8405	0.0128	0.014	0.0357	4684.9	2342.4	5D25	3D25
	1102	lapangan	1E+06	44100000	60	-5.61	-9.23	0.4518	0.0014	0.002	0.0041	537.0	268.5	2D25	2D25
	1101	tumpuan	1E+06	92300000	240	-21.40	6.56	0.9455	0.003	0.003	0.0086	1127.8	563.9	2D25	2D25
	1101	lapangan	1E+06	55400000	150	1.50	-16.34	0.5675	0.0018	0.002	0.0051	675.1	337.5	2D25	2D25
2	2101	tumpuan	1E+06	92300000	240	-21.40	6.56	0.9455	0.003	0.003	0.0086	1127.8	563.9	2D25	2D25
	2101	lapangan	1E+06	55400000	150	1.50	-16.34	0.5675	0.0018	0.002	0.0051	675.1	337.5	2D25	2D25
	2102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	2102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	2104	lapangan	1E+06	46500000	108	-1.52	-13.31	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	2102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	2102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	2101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	2101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
3	3101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	3101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	3102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	3102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	3104	lapangan	1E+06	46500000	108	-1.52	-13.31	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	3102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	3102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	3101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	3101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25

KONTROL TEGANGAN BALOK PRATEKAN PADA SAAT BEBAN KERJA

b = 300 mm
h = 500 mm

decking = 40 mm
dp = 100 mm

Aps = 981 mm²

teg.tarik ijin = 2.83 Mpa
teg.tekan ijin = -19.20 MPa

lantai	balok	daerah	F (N)	Mmax (Nmm)	e _{se} (mm)	f _t (Mpa)	f _c (Mpa)	Rn	p _a	p'	p	As	As'	As pasang	As' pasang
4	4101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	4101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	4102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	4102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	4104	lapangan	1E+06	46500000	108	-1.52	-13.31	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	4102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	4102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	4101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
5	5101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
	5102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	5102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	5104	lapangan	1E+06	46500000	108	-1.52	-13.31	0.4764	0.0015	0.002	0.0043	566.3	283.1	2D25	2D25
	5102	tumpuan	1E+06	176400000	240	-14.67	-0.17	1.8071	0.0058	0.007	0.0165	2168.9	1084.5	5D25	3D25
	5102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	5101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
	5101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25
6	6101	tumpuan	1E+06	14760000	240	-27.60	12.77	0.1512	0.0005	6E-04	0.0014	179.3	89.7	2D25	2D25
	6101	lapangan	1E+06	72200000	150	0.16	-14.99	0.7396	0.0023	0.003	0.0067	880.9	440.4	2D25	2D25
	6102	tumpuan	1E+06	429400000	240	5.57	-20.41	4.3988	0.0148	0.016	0.0411	5391.9	2695.9	5D25	3D25
	6102	lapangan	1E+06	82800000	60	-8.70	-6.13	0.8482	0.0027	0.003	0.0077	1011.0	505.5	2D25	2D25
	6104	lapangan	1E+06	100500000	108	-5.84	-8.99	1.0295	0.0033	0.004	0.0094	1228.7	614.3	2D25	2D25
	6102	tumpuan	1E+06	83200000	240	-22.13	7.29	0.8523	0.0027	0.003	0.0077	1015.9	507.9	5D25	3D25
	6102	lapangan	1E+06	79600000	60	-8.45	-6.39	0.8154	0.0026	0.003	0.0074	971.7	485.8	2D25	2D25
	6101	tumpuan	1E+06	49300000	240	-24.84	10.00	0.505	0.0016	0.002	0.0046	600.5	300.2	2D25	2D25
6	6101	lapangan	1E+06	20800000	150	4.27	-19.11	0.2131	0.0007	8E-04	0.0019	252.8	126.4	2D25	2D25